

Série A : N° 926

N° D'ORDRE :

1749

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR **André LACOSTE**

DOCTEUR EN MÉDECINE

CHARGÉ DES FONCTIONS D'AGRÉGÉ D'HISTOLOGIE A LA FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE
ET DE PHARMACIE DE BORDEAUX

1^{re} THÈSE. — LA CROISSANCE DU CRÂNE CHEZ LE MOUTON. ETUDE ANATOMIQUE ET
HISTOLOGIQUE.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le *14* Mai 1923, devant la Commission d'examen.

MM. WINTREBERT	<i>Président</i>
HEROUARD	} <i>Examineurs</i>
COMBES	

BORDEAUX

IMPRIMERIE MODERNE — A. DESTOUT AÎNÉ & C^{ie}

139 Rue Sainte-Catherine & 8, Rue Paul-Bert

1923



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547513_0005

Série A : N° 926

N° D'ORDRE :

1749

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR **André LACOSTE**

DOCTEUR EN MÉDECINE

CHARGÉ DES FONCTIONS D'AGRÉGÉ D'HISTOLOGIE A LA FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE
ET DE PHARMACIE DE BORDEAUX

1^{re} THÈSE. — LA CROISSANCE DU CRANE CHEZ LE MOUTON. ETUDE ANATOMIQUE ET
HISTOLOGIQUE.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le *14* Mai 1923, devant la Commission d'examen.

MM. WINTREBERT	<i>Président</i>
HEROUARD	} <i>Examineurs</i>
COMBES	

BORDEAUX

IMPRIMERIE MODERNE — A. DESTOUT AÎNÉ & C^{ie}

139 Rue Sainte-Catherine & 8, Rue Paul-Bert

1923

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

MM.

Doyen..... MOLLARD, *Professeur*, Physiologie végétale.

Doyen honoraire..... P. APPELL.

Professeurs honoraires } P. PUISEUX.
VÉLAIN.
BOUSSINESQ.
PRUVOT.

Emile PICARD..... Analyse supérieure et algèbre supérieure.
KÖNIGS..... Mécanique physique et expérimentale.
GOURSAT..... Calcul différentiel et calcul intégral.
HALLER..... Chimie organique.
JOANNIS..... Chimie (Enseignement P. C. N.)
JANET..... Electrotechnique générale.
WALLERANT..... Minéralogie.
ANDOYER..... Astronomie.
PAINLEVÉ..... Mécanique analytique et mécanique céleste.
HAUG..... Géologie.
H. LE CHATELIER..... Chimie générale.
Gabriel BERTRAND..... Chimie biologique.
M^{me} P. CURIE..... Physique générale et radioactivité.
CAULLERY..... Zoologie (Evolution des êtres organisés).
C. CHABRIÉ..... Chimie appliquée.
G. URBAIN..... Chimie minérale.
Emile BOREL..... Calcul des probabilités et Physique mathém.
MARCHIS..... Aviation.
Jean PERRIN..... Chimie physique.
ABRAHAM..... Physique.
CARTAN..... Mécanique rationnelle.
Cl. GUICHARD..... Géométrie supérieure.
LAPICQUE..... Physiologie.
GENTIL..... Géographie physique.
VESSIOT..... Théorie des groupes et calcul des variations.
COTTON..... Physique générale.
DRACH..... Application de l'analyse à la géométrie.
C. FABRY..... Physique.
Charles PÉREZ..... Zoologie.
Léon BERTRAND..... Géologie appliquée et géologie régionale.
DANGEARD..... Botanique.
LESPIEAU..... Théories chimiques.
LEDEC..... Physique théorique et physique céleste.
MONTEL..... Mathématiques générales.
MAURAIN..... Physique du globe.
RABAUD..... Biologie expérimentale.
WINTREBERT..... Anatomie et physiologie comparées.

Professeurs..... HÉROUARD..... Zoologie.
Rémy PERRIER..... Zoologie (Enseignement P.C.N.)
SAGNAC..... Physique théorique et physique céleste.
PORTIER..... Physiologie.
BLAISE..... Chimie organique.
PÉCHARD..... Chimie (Enseignement P.C.N.)
AUGER..... Chimie analytique.
M. GUICHARD..... Chimie minérale.
GUILLET..... Physique.

Secrétaire..... Daniel TONBECK.



A MON MAITRE

M. LE PROFESSEUR G. DUBREUIL

En dédiant ce travail à M. le Professeur Dubreuil, je veux marquer la reconnaissance et le respectueux attachement que j'éprouve pour le Maître auquel je dois tant, et pour le chef auprès duquel toute collaboration devient facile et agréable.

Je désire associer aussi dans cet hommage de gratitude ceux de mes Maîtres, disparus ou vivants, qui ont contribué directement à ma formation scientifique, et dont j'ai à maintes reprises reçu les encouragements et les témoignages d'une sympathie dont je conserve fidèlement le souvenir :

MM. les Professeurs Cannieu et Gentes qui furent mes Maîtres en Anatomie, et dont je salue avec émotion la douloureuse mémoire ;

MM. les Professeurs Boutan, Chainé, Devaux, Sauvageau dont j'ai suivi l'enseignement à la Faculté des Sciences ;

M. le Professeur R. Picqué auquel m'unit plus particulièrement le souvenir, toujours présent, des heures tragiques vécues en commun, et au cours desquelles son exemple me fut un précieux réconfort intellectuel et moral ;

MM. les Professeurs Pitres et Lagrange, dont j'ai eu l'honneur d'être l'interne.

M. le Professeur Wintrebert m'a accueilli avec une bienveillance qui m'a profondément touché. En acceptant d'examiner ma thèse, puis de la présider, il m'a donné une marque d'intérêt dont je sens tout le prix. Je prie ce Maître d'accepter l'hommage de ma reconnaissance et de mon très respectueux dévouement.

LA CROISSANCE DU CRANE CHEZ LE MOUTON

ÉTUDE ANATOMIQUE ET HISTOLOGIQUE

INTRODUCTION

L'accroissement de la cavité crânienne est un phénomène qui va de soi. Il paraît si naturel que peu de gens ont tenté d'élucider les phénomènes qui le régissent. Quelques chercheurs, peu nombreux il faut le dire, ont essayé de déterminer les causes et les effets. Les uns ont abordé le problème par la mécanique pure et la mathématique, les autres par l'expérimentation. Les uns et les autres n'ont pas fourni de données bien précises tant à cause de la difficulté de mettre la biologie en formules, toujours critiquables, qu'en raison des obstacles qu'oppose la cavité crânienne à une expérimentation rationnelle.

En présence de résultats décevants, qui seront examinés, nous avons tenté d'aborder ce problème complexe par une autre méthode : celle de l'observation histologique des faits en série. Elle a été employée déjà, de façon fragmentaire, par KÖLLIKER. Il ne faut pas dissimuler que cette méthode exige un travail manuel considérable et l'examen de quelques milliers de coupes à revoir, ensuite à comparer, à dessiner, pour tirer de l'examen systématique des faits quelques conclusions utiles.

Le choix de l'objet d'étude est important. Les petits animaux eussent été agréables à l'histologiste, mais les os de la voûte crânienne sont trop minces et trop rapidement denses. L'Homme eût été un objet favorable, mais il fallait un grand nombre

de crânes foetaux, matériel rare, relativement. Les gros animaux eussent été parfaits n'étaient les dimensions des objets qui dépassent les possibilités de l'histologie. Finalement nous avons choisi le Mouton, matériel abondant et peu coûteux, à parois craniennes épaisses et où certaines dispositions exagérées au regard de celles d'autres animaux permettaient de saisir l'importance de quelques phénomènes spéciaux.

Le problème de l'accroissement de la cavité cranienne se pose de la façon suivante :

1° Comment les os croissent-ils en général. Y a-t-il apposition ou croissance interstitielle ? L'expérimentation montre que l'apposition est seule en jeu et les expériences positives de prétendue croissance interstitielle sont justiciables de critiques graves.

2° Les os de la voûte et de la base du crâne se comportent-ils comme les autres os du squelette ou relèvent-ils de phénomènes spéciaux ? L'expérimentation laisse planer le doute.

3° Les recherches histologiques démontrent l'existence de phénomènes d'apposition et de résorption non douteux et orientés vers un but. Ces phénomènes sont exactement les mêmes dans les os du crâne que dans les autres os. Il n'y a donc pas lieu de penser que l'accroissement se fasse par des procédés différents chez les uns et chez les autres.

4° Des faits étudiés en série, durant la croissance des os de la cavité cranienne, prouvent que l'apposition et la résorption sont très largement employées. Aucun fait ne milite en faveur de la croissance interstitielle.

5° Peut-on, en se servant uniquement des faits d'apposition et de résorption, concevoir l'agrandissement de la cavité cranienne, le modelage et l'agrandissement des diverses pièces, l'augmentation du rayon de courbure des os de la voûte ? Nous le pensons et tentons de le démontrer dans cet essai sur la mécanique de croissance de la cavité cranienne.

Cette étude comporte donc :

a) Un exposé critique, malheureusement un peu long, des

recherches expérimentales sur la croissance des os et de la cavité crânienne.

b) Un rappel des processus histologiques d'apposition et de résorption des os au cours de la croissance. Ces notes sont réduites à l'essentiel car l'ensemble des processus est suffisamment connu.

c) Une étude ostéologique sommaire de la cavité crânienne du Mouton au stade de développement complet.

d) Une étude des processus de croissance propres aux os de la voûte et particulier à chacun de ces os avec le résultat mécanique de ces processus. De même pour les os de la base envisagée par segments.

e) Les conséquences générales à tirer au point de vue de la croissance de la cavité crânienne.

On trouvera, en outre, la description de quelques phénomènes histologiques spéciaux qui n'avaient pas attiré spécialement l'attention des auteurs jusqu'à ce jour : atrophie massive des ostéoblastes, dégénérescence des ostéoclastes, etc.

Les faits importants sont démontrés par des figures, mais il nous a paru plus convaincant, faute de présenter les préparations microscopiques, d'appuyer les idées, principalement les faits nouveaux, par la présence de microphotographies documentaires.

En terminant, je me permets d'affirmer que j'ai abordé d'emblée un problème très complexe : mais il a paru préférable d'attaquer l'ensemble plutôt qu'une partie, car les phénomènes se répètent en différents points, se contrôlent et se vérifient les uns par les autres. On m'excusera si j'ai négligé quelques détails, jugeant ce travail comme un « Essai » dans lequel la preuve est fournie au fur et à mesure que les faits sont affirmés.

Je dois signaler aussi que certains problèmes, tels que l'accroissement de la cavité crânienne dans le segment occipital, n'ont été élucidés que partiellement. A côté de phénomènes très simples à saisir et à interpréter, il y en a là de beaucoup plus complexes tenant spécialement à la présence dans cette

région, de la capsule auditive, à la constitution de l'occipital lui-même, à son mode de développement et à son évolution au cours de la croissance. Il m'a semblé que cette question à elle seule est de nature à justifier une étude détaillée, n'entrant pas dans le cadre de ce travail.

Tous les faits de Morphologie générale, la discussion des théories sur la formation du crâne, sur l'existence et le nombre des vertèbres occipitales, la question du paleocrane et du néocrane, de l'origine et de la signification des os de membrane, etc., ont été complètement laissés de côté dans cet essai. La cavité crânienne et les os qui la limitent fournissent assez de faits susceptibles d'interprétation et de discussion pour être envisagés en eux-mêmes en tant qu'objets concrets sans entrer dans le domaine de l'Anatomie générale ou s'élever dans celui de l'Évolution des êtres.

CHAPITRE PREMIER

Les os s'accroissent par apposition. Preuves expérimentales. Critiques des expériences tendant à démontrer la croissance interstitielle.

CLOPTON HAVERS a, le premier, posé le problème de la croissance du tissu osseux. Il en a donné une solution toute théorique d'ailleurs (1).

Sa conception montre jusqu'à quel point les idées de Descartes sur les phénomènes de la vie étaient en faveur à cette époque. Exprimée en langage moderne, l'opinion de Havers est la suivante :

Les os sont constitués par des particules solides qui naissent par une sorte de précipitation dans une masse initialement molle et qui s'agrègent pour former des fibres d'abord, puis des lames. Les os sécrètent, dans certaines de leurs parties, occupées par le tissu de la moelle, des particules nutritives qui diffusent dans toute leur épaisseur grâce à un réseau très développé de canaux. Ces particules nutritives en circulation pénètrent entre les parties osseuses déjà agrégées, les écartent et déterminent ainsi l'augmentation du volume de l'Os.

La conception de l'accroissement interstitiel formulée ainsi d'une façon non équivoque fut généralement acceptée sans discussion.

(1) HAVERS (Cl.), *a*) *Osteologia nova or some observations on the bone.* London, 1729.

b) *Novæ quædam observationes de ossibus et partibus pertinentibus ubi et ratio quia crescunt et mutiuntur exponitur auctore Clopton Havers apud Jansonio Wasbergios. Amstelrædam, MDCXXXI.*

I. — Expériences sur la croissance des os longs pourvus de cartilages de conjugaison.

A) **Expériences de du Hamel.** — Au cours du XVIII^e siècle, le problème de la croissance osseuse fut abordée par le savant français DU HAMEL DU MONCEAU, d'une façon toute nouvelle. Gentilhomme campagnard et administrateur des forêts domaniales dans le Gâtinais, il était pourvu d'une solide éducation scientifique, puisée au contact de M. DE BUFFON lui-même.

Il eut connaissance, en 1737, d'un fait curieux observé par le chirurgien anglais BELCHIER et communiqué par le chevalier SLOANE dans une lettre à l'Académie Royale des Sciences de Paris (1). BELCHIER, dans des circonstances tout à fait fortuites, avait constaté que l'adjonction de poudre de racine de garance à l'alimentation des Porcs provoque chez ces derniers une coloration rouge des os.

DU HAMEL résolut de vérifier l'authenticité du fait et il entreprit dans ce but des expériences dont il donna les résultats dans un premier mémoire à l'Académie Royale des Sciences de Paris (2). L'attention de DU HAMEL semble avoir été progressivement attirée vers le problème spécial de la croissance des os ; et ses recherches sur cette question font l'objet de six mémoires qui figurent dans les comptes rendus de l'Académie Royale des Sciences de Paris des années 1741, 1742, 1743.

L'auteur était botaniste et il savait que « l'augmentation de » la grosseur des arbres se fait par les couches intérieures de » l'écorce, par les couches qu'on appelle le liber, qui s'attachent » à l'arbre pendant que, à la partie intérieure de l'écorce, il se » développe des couches herbacées qui tiennent lieu de celles » qui sont converties en bois » (3).

Transportant ces notions au système osseux, DU HAMEL pensa

(1) *C. R. Académie Royale des Sciences*, p. 7, 1737.

(2) DU HAMEL DU MONCEAU, Sur une racine, etc., p..., *Mém. Acad. Roy. des Sciences*, p. 4 à 13, 1739.

(3) DU HAMEL DU MONCEAU, Sur le développement et la crue des os des animaux. *Mém. Acad. Roy. des Sciences*, p. 363, 1741.

que le périoste, membrane fibreuse qui enveloppe les os, et la membrane médullaire qui double leur cavité centrale déterminent l'accroissement en épaisseur, en déposant des couches osseuses concentriques et successives. Ces conclusions étaient basées sur les résultats des expériences suivantes :

Un fil métallique ayant été placé autour de l'os de l'aile d'un Pigeonneau, fut retrouvé dans la cavité médullaire de l'Os. DU HAMEL concluait légitimement de ces expériences que l'os avait été recouvert par des couches osseuses nouvelles, par le périoste, et il pensait que la pénétration du fil métallique dans le canal médullaire résultait d'une striction, puis d'une section des lames osseuses qui lui étaient primitivement sous-jacentes (1).

L'avenir devait démontrer que cette dernière interprétation était erronée.

En plus, DU HAMEL étayait sa conception du rôle du périoste dans le mécanisme de l'accroissement sur des expériences d'un ordre tout différent (2).

Il soumit des animaux au régime garancé pendant quelque temps, puis les maintint, avant de les sacrifier, à une alimentation normale. La section transversale des diaphyses montra, en allant du centre de la coupe vers les bords, la disposition générale suivante : Au centre, le canal médullaire entouré de trois zones osseuses, une moyenne colorée en rouge, édiflée pendant la période d'alimentation garancée, une interne et une externe non colorées correspondant à des parties de la diaphyse édiflées pendant les deux périodes extrêmes de la vie où l'alimentation avait été normale.

DU HAMEL croyait à tort que la coloration par la garance disparaît au bout d'un certain temps ; c'est à FLOURENS qu'il était réservé, un siècle plus tard, de reviser cette notion, d'interpréter exactement cette expérience et d'en montrer toute la portée.

Le cinquième mémoire est consacré à l'étude de l'allongement

(1) DU HAMEL DU MONCEAU, IV^e Mémoire sur les os. Dans lequel on se propose de rapporter, etc., *Mém. Acad. Roy. des Sciences*, p. 102, 1743.

(2) DU HAMEL DU MONCEAU, Sur le développement et la crue des os des animaux. *Mém. Acad. Roy. des Sciences*,¹ p. 363, 1741.

des os ; l'idée directrice reste la même, comme le prouve le titre du travail « dans lequel on se propose d'éclaircir par de nouvelles expériences comment se fait la crue des os des animaux » et de prouver que cet accroissement s'opère par un mécanisme bien approchant de celui qu'observe la nature pour l'allongement du corps ligneux dans les bourgeons des arbres » (1).

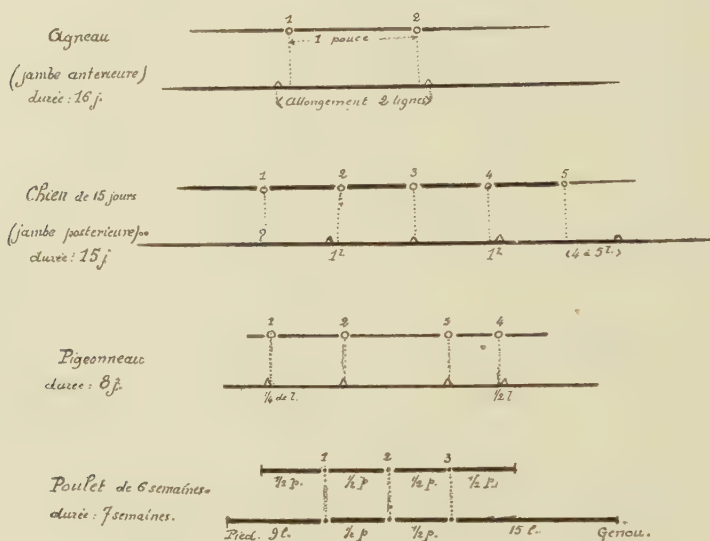


Fig. 1 — Schéma des expériences de DU HAMEL sur l'accroissement en longueur des os. (Voir le texte.)

Quatre expériences sont rapportées dans ce travail :

1^{re} Expérience. — Deux trous sont faits au poinçon dans l'os de la jambe antérieure d'un jeune Agneau. Seize jours après, on trouve deux exostoses à la place des trous. La distance entre les trous était de 1 pouce ; la distance entre les exostoses était de 1 pouce et 2 lignes ; l'allongement était donc de 2 lignes.

2^e Expérience. — Au tibia d'un Chien de quinze jours on fit cinq trous au poinçon ; après quinze jours les exostoses corres-

(1) DU HAMEL DU MONCEAU, V^e Mémoire sur les os. Dans lequel on se propose d'éclaircir... *Mém. Acad. Roy. des Sciences*, p. 441 et suiv., 1743.

pendant aux points 2 et 4 (*voir fig. 1*) sont écartées de 1 ligne au plus du point 3. L'exostose 5 s'est écartée de 4 à 5 lignes de l'exostose 4, soit dans le cas particulier de 15 millimètres environ.

3^e *Expérience*. — On perce quatre trous sur l'os de la jambe d'un Pigeonneau. Les trous extrêmes ont fait des exostoses qui ne se sont écartées de leurs places primitives que de $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{2}$ de ligne soit de un $\frac{1}{2}$ millimètre à 1 millimètre environ au bout de huit jours.

4^e *Expérience*. — Trois trous sont faits dans l'os de la jambe d'un Poulet, dans lesquels on passe des fils d'argent. Après sept semaines, la place relative des fils n'a pas varié ; les extrémités de l'os se sont éloignées des fils extrêmes ; peu pour l'extrémité inférieure, considérablement pour l'extrémité supérieure.

Il est intéressant de connaître les conclusions de DU HAMEL touchant le mécanisme intime de la croissance osseuse.

Selon lui, l'accroissement en grosseur se fait principalement par apposition de couches osseuses nouvelles d'os périostique qui se superposent aux couches déjà formées. Mais ce procédé ne peut expliquer l'accroissement du canal médullaire constatable au cours du développement, aussi DU HAMEL admet que cette extension implique nécessairement la mise en œuvre d'un mécanisme de croissance interstitielle, grâce auquel les lames osseuses périmédullaires sont capables de s'étendre comme pour obéir à l'accroissement diamétral de la cavité qu'elles entourent.

En ce qui concerne l'allongement, DU HAMEL tira de ses expériences les résultats qu'elles comportaient logiquement, et il admet en outre le processus de la croissance interstitielle, au moins dans les parties jeunes et incomplètement édifiées :

« 1^o Quand les os ne sont pas bien endurcis, ils s'allongent » dans toutes leurs parties (1^{re} Expérience).

» 2^o L'allongement diminue dans les endroits où l'endurcissement fait le plus de progrès (2^e Expérience).

» 3^o L'allongement cesse où l'endurcissement est parfait (3^e et 4^e Expérience).

» 4° L'allongement est plus considérable à la partie supérieure » qu'à la partie inférieure du tibia » (1).

Mais si les conclusions de DU HAMEL étaient parfaitement logiques, ses expériences, malgré leur mérite très réel, ne sont pas à l'abri de la critique. Il importe d'autant plus de les discuter à fond, qu'elles ont été invoquées, même de nos jours, par les défenseurs de la théorie de la croissance interstitielle du tissu osseux.

Les expériences de DU HAMEL sur la croissance des os en longueur étaient passibles de reproches graves. On peut les résumer ainsi :

a) Pour qu'un repère conserve toute sa valeur, il faut qu'il reste le même pendant toute la durée de l'expérience. Or, DU HAMEL, au début de ses expériences, mesure la distance entre les trous placés dans l'os ; à la fin, il apprécie l'écartement des exostoses résultant de l'irritation traumatique locale faite au périoste. Rien ne prouve que les exostoses périostées occupent exactement la place des trous.

b) La seule expérience où il n'ait pas été constaté d'allongement est précisément celle où la place des trous est indiquée par des fils d'argent, repères identiques à eux-mêmes pendant toute la durée de l'expérience et présentant, par conséquent, les garanties nécessaires.

c) La troisième et la quatrième expériences sont en désaccord avec la première et la deuxième. Si une longueur de 1 pouce s'allonge de 2 lignes en quinze jours sur la jambe d'un Agneau, il est impossible qu'une même longueur de 1 pouce reste immuable sept semaines sur le tibia d'un Poulet. C'est vraisemblablement qu'il y eut des erreurs de mesures, ce qui est très admissible, car il s'agissait d'apprécier des différences de $1/4$ ou de $1/2$ millimètre par des procédés ordinaires.

Pour ces raisons, il est, je crois, légitime de conclure que les expériences de DU HAMEL ne sauraient, en aucune façon, démon-

(1) DU HAMEL DU MONCEAU, V^e Mémoire sur les os. Dans lequel on se propose d'éclaircir.... *Mém. Acad. Roy. des Sciences*, p. 138 et 139, 1743.

trer que l'accroissement de l'os en longueur s'effectue par un mécanisme de croissance interstitielle de la substance osseuse déjà édiflée.

Les expériences sur la croissance de l'os en épaisseur établissent nettement la réalité d'un mécanisme d'apposition.

L'auteur cependant, par ignorance des procédés réels d'agrandissement du canal médullaire, fut amené à admettre, sans que les preuves en découlassent de ses expériences, la participation d'un processus de croissance interstitielle.

Les travaux de HUNTER et les belles recherches de FLOURENS devaient montrer que la formation du canal médullaire résulte de phénomènes très spéciaux qui n'impliquent en aucune façon la nécessité d'une croissance interstitielle des lamelles osseuses périmédullaires.

B) Travaux de Hunter. — Il ne nous est parvenu que peu de choses des œuvres du chirurgien anglais HUNTER, auquel nous devons la connaissance d'un phénomène absolument capital de la croissance osseuse, et dont la généralité déborde sur toute la biologie du tissu osseux.

Une partie des œuvres de HUNTER, dix volumes de notes manuscrites, furent brûlées dans les circonstances les plus suspectes par son propre beau-frère SIR EDWARD HOME. Celui-ci s'est borné à résumer les expériences et les observations de HUNTER sur le tissu osseux dans une courte note d'une centaine de lignes. Cette note a été insérée avec des commentaires de OWEN dans l'édition de PALMER (1).

Elle constitue, avec les pièces du Hunterian Museum et quelques fragments dus à HUNTER lui-même, tout ce qui nous reste d'un effort qui paraît avoir été considérable.

HUNTER admettait avec DU HAMEL l'apposition de couches osseuses successives formées par le périoste. Mais il se rendait compte que ce procédé ne donnait pas une explication complète de la croissance des pièces osseuses en épaisseur.

« Si, dit-il en parlant du fémur, l'accroissement se faisait

(1) HUNTER (J.), *Œuvres complètes*. Traduct. française de G. RICHELLOT, Paris, 1844.

» uniquement par couches superposées, la tête de l'os acquerrait
» nécessairement un volume tel qu'elle finirait par s'étendre
» jusqu'à la partie moyenne de l'os, tandis que la cavité ne
» s'agrandirait aucunement.

» Il est donc indispensable que l'absorption s'exerce pour que
» la forme qui est propre à l'os soit maintenue ; voilà pourquoi
» j'appelle cette absorption, absorption modelante, car sans la
» combinaison des deux phénomènes l'absorption et l'addition
» de la matière, l'animal ne pourrait avoir le mode de dévelop-
» pement et les formes qui lui appartiennent » (1).

Expérimentant avec de la garance, HUNTER confirma, à propos du fémur, le phénomène général de l'apposition de couches osseuses par le périoste, mais il observa que, au niveau du col, le dépôt des couches osseuses se fait à la face supérieure, tandis que la face inférieure est progressivement ravalée, et il attribua à ce mécanisme le fait que le col du fémur conserve sa forme et reste, relativement, à la même place.

Les pièces du Hunterian Museum montrent l'existence de phénomènes analogues au niveau du maxillaire inférieur. L'apposition de couches osseuses nouvelles se fait surtout à la région postérieure et supérieure de la branche ascendante, tandis que le tissu osseux est résorbé à la partie antérieure de la même branche ; d'où il résulte que les alvéoles des molaires postérieures se dégagent graduellement et qu'il y a au-dessus d'eux un espace pour la sortie des dents (2).

Il existe donc au niveau des os des phénomènes de résorption, d'absorption modelante, disait HUNTER ; c'est par cette absorption modelante que se fait l'extension du canal médullaire, tandis que des couches nouvelles sont déposées par le périoste à la surface extérieure de l'os. L'os ne s'étend donc pas, comme le pensait DU HAMEL, pour suivre l'extension du canal médullaire ; c'est le canal médullaire qui se creuse dans l'os à mesure que celui-ci s'épaissit par apposition externe (3).

(1) HUNTER (J.), *Œuvres complètes*, t. I, p. 292 et 293.

(2) HUNTER (J.), *Œuvres complètes*, t. IV (Commentaires de OWEN), p. 411.

(3) HUNTER (J.), *Œuvres complètes*, t. IV (Commentaires de OWEN), p. 411.

HUNTER ne s'est pas borné à l'étude de l'accroissement des os en épaisseur. Il a fait des expériences destinées à préciser le mécanisme de leur allongement. Il rapporte en ces termes l'expérience suivante :

« Sur le tibia d'un jeune cochon de grande espèce je pratiquai » deux trous dans chacun desquels je plaçai un grain de plomb, » et j'eus soin de tenir note de la distance qui séparait les deux » plombs l'un de l'autre. Je ne tuai l'animal que lorsqu'il eut » atteint son développement complet. A cette époque les deux » trous se trouvaient à la même distance l'un de l'autre qu'au » moment où je les avais faits. Or, si l'os se fût développé dans » toutes ses parties, les grains de plomb se seraient éloignés » l'un de l'autre en proportion de l'accroissement de l'os » (1).

Cette expérience est malheureusement isolée ; mais il faut en tenir compte, car elle se recommande par un choix particulièrement heureux des repères et elle permet de conclure, contrairement à l'opinion de DU HAMEL, que l'allongement de l'os n'est pas le résultat d'une croissance de toutes ses parties.

C'est ainsi que HUNTER fut amené à formuler pour la première fois et avec la plus grande netteté la conception de la croissance appositionnelle du tissu osseux.

« Les os, dit-il, ne s'accroissent point au moyen de particules » nouvelles qui se déplaceraient dans l'intervalle des parties » antérieurement formées, de manière à produire un écartement » plus grand entre ces dernières, comme l'éponge qui plongée » dans l'eau acquiert un volume plus considérable, parce que » le liquide s'introduit dans tous ses pores, mais ils se déve- » loppent par l'addition à leur surface externe d'une substance » osseuse nouvelle » (2).

C) Expériences de Flourens. — C'est à FLOURENS (3) qu'il appartenait d'apporter au problème de la croissance osseuse une contribution décisive et d'établir sur des bases expérimentales solides le mécanisme réel de l'accroissement des pièces osseuses.

(1) HUNTER (J.), *Œuvres complètes*, t. I, p. 292.

(2) HUNTER (J.), *Œuvres complètes*, t. I, p. 292.

(3) FLOURENS (P.), *Théorie expérimentale de la formation des os*. Paris, 1847.

La méthode de l'alimentation garancée avait permis à DU HAMEL de conclure que l'épaississement des os se fait par adjonction de couches osseuses successives déposées par le périoste, et par conséquent par un processus d'apposition : mais la migration dans le canal médullaire de repères annulaires placés autour des diaphyses avait conduit cet auteur à admettre une croissance interstitielle en relation avec l'extension progressive du canal médullaire.

FLOURENS confirma par la méthode de la garance les conclusions générales de DU HAMEL sur le rôle du périoste, et surveillant les repères métalliques annulaires placés sous le périoste des diaphyses, il constata leur recouvrement progressif par des couches osseuses fraîchement apposées par cette membrane (1). Il montra enfin que l'interprétation donnée par DU HAMEL sur la migration dans le canal médullaire de repères métalliques est erronée.

L'extension du canal médullaire résulte d'une érosion de sa surface interne, comme le pensait HUNTER; elle n'est pas le fait d'une croissance passive de cause indéfinie et impliquant l'extension par intususception des lames osseuses périmédullaires. Le canal médullaire s'accroît grâce à un phénomène de résorption osseuse de sa paroi. Ce qui le prouve, c'est que si l'on soumet un animal à un régime normal et qu'on attende assez longtemps, on constate que le canal médullaire, au lieu d'être limité par de l'os blanc, se trouve au contact de la couche d'os coloré par suite de la résorption progressive de la couche interne d'os blanc qui limitait le canal médullaire au moment de l'installation du régime garancé (2). Ce fait donne à cette expérience, incomplètement réalisée par DU HAMEL et inexactement interprétée par lui, sa véritable signification.

Il est inexact de croire avec DU HAMEL que la migration du fil métallique dans le canal médullaire résulte d'une section des couches osseuses qui séparaient initialement le repère de la cavité centrale de l'Os.

(1) FLOURENS (P.), *Théorie expérimentale de la formation des os*, p. 13 et 14.

(2) FLOURENS (P.), *Théorie expérimentale de la formation des os*, p. 85 à 89.

FLOURENS (1) a montré, en effet, que des plaques métalliques placées sous le périoste tangentiellement à la surface de la diaphyse, se retrouvent dans le canal médullaire sans qu'on puisse invoquer ici le mécanisme du sectionnement des lames osseuses périmédullaires.

De ses expériences FLOURENS put tirer légitimement les conclusions fondamentales suivantes :

L'os se forme dans le périoste.

Il croît en grosseur par couches superposées.

Le canal médullaire s'agrandit par la résorption des couches internes de l'os (2).

Les recherches de FLOURENS ont contribué d'autre part à élucider le mode d'allongement des pièces osseuses que DU HAMEL expliquait par une croissance de l'os dans toutes ses parties.

FLOURENS se mit à l'abri des causes d'erreur qui entachaient les expériences de son prédécesseur. Pour cela, il utilisa des repères restant comparables à eux-mêmes, sous la forme de fiches métalliques enchassées dans l'os à diverses hauteurs dans la diaphyse et dans les épiphyses. Dans ces conditions, il observa, contrairement à DU HAMEL, que les repères diaphysaires ne s'écartent jamais les uns des autres ; les seuls allongements constatés portent sur les distances qui séparent les repères diaphysaires supérieur et inférieur des repères épiphysaires correspondants.

L'allongement de l'os ne se fait donc pas par la croissance de toutes ses parties, mais seulement au niveau d'une région parfaitement limitée située entre l'épiphyse et la diaphyse. L'os, une fois édifié, et si jeune soit-il, semble être fixé et incapable de s'accroître autrement que par apposition en surface de substance osseuse nouvelle.

Il existe donc dans la région diaphyso-épiphysaire une zone fertile où l'os nouveau s'édifie et s'ajoutant aux parties déjà formées détermine l'allongement total de la pièce. FLOURENS localisa cette région fertile dans ce qu'on appelait de son temps

(1) FLOURENS (P.), *Théorie expérimentale de la formation des os*, p. 22 à 26.

(2) FLOURENS (P.), *Théorie expérimentale de la formation des os*, p. 33.

le « fibro-cartilage » séparant l'épiphyse de la diaphyse (1).

Nous verrons comment, dans la suite, fut confirmé expérimentalement et histologiquement le rôle majeur dans l'allongement des os, de cette formation dénommée de nos jours « le cartilage de conjugaison ».

FLOURENS ignorait la nature des agents de l'érosion ; il attribua le phénomène à la membrane médullaire ; il eut la notion que cette membrane peut, suivant le moment de l'évolution, édifier de l'os ou le résorber ; et il remarqua aussi que le périoste, agent habituel de l'apposition osseuse, peut à certains moments acquérir des propriétés destructives utilisées dans le modelage de la surface extérieure de l'os (2).

Au cours de consciencieuses recherches, un peu postérieures à celles de FLOURENS, BRULLÉ et HUGENY (3) ont développé plus spécialement ce point particulier.

Ces auteurs, utilisant la méthode de l'alimentation garancée, aboutirent aux conclusions générales suivantes :

Il se fait de l'os, soit à la surface externe de la pièce, soit à la face interne du canal médullaire, mais point sur les deux faces à la fois ; lorsqu'il y a résorption sur une face, il y a ordinairement apposition sur la face opposée.

Ces notions n'étaient pas négligeables ; elles contenaient en germe des faits que KÖLLIKER devait préciser dans la suite et dont il devait montrer toute l'importance.

D) Recherches d'Ollier. — Les recherches d'OLLIER sur la croissance des os ont eu en chirurgie une importance considérable. Mais on oublie peut-être trop que ses belles découvertes furent étayées par des études expérimentales dont les résultats dépassent singulièrement le cadre de la chirurgie osseuse et apportent à la théorie de la croissance appositionnelle un notable contingent de preuves objectives.

(1) FLOURENS (P.), *Théorie expérimentale de la formation des os*, p. 26 à 30 et p. 117 à 122.

(2) FLOURENS (P.), *Loc. cit.*, p. 34 à 34.

(3) BRULLÉ et HUGENY, *Expériences sur le développement des os dans les Mammifères et les Oiseaux faites au moyen de l'alimentation par la garance. Mém. de l'Acad. des Sc.*, p. 1061 à 1063, 1843.

FLOURENS (1) avait montré que le périoste est capable de régénérer des segments étendus de diaphyse enlevés par résection sous-périostée. OLLIER (2) confirma le fait par de nombreuses expériences, et prouva que cette propriété pouvait être utilisée avec succès dans le traitement de certaines affections chirurgicales des os. Il étendit d'ailleurs ses expériences et montra que des greffes libres ou pédiculées de lambeaux périostiques pouvaient devenir le point de départ de la formation de tissu osseux parfaitement authentique.

OLLIER eut le grand mérite de préciser les conditions de l'activité ostéogénique du périoste; il montra que ce pouvoir, bien marqué sur les sujets jeunes, diminue avec l'âge pour s'épuiser d'une façon complète, mais qu'il peut être récupéré à la suite d'irritations traumatiques ou inflammatoires. Ses expériences lui permirent de localiser dans la couche profonde du périoste, dénommée « couche ostéogène d'OLLIER », les propriétés édifcatrices de cette membrane.

Les recherches d'OLLIER furent âprement combattues par SEDILLOT (3); ce chirurgien opposait à l'aphorisme bien connu de FLOURENS (4) repris par OLLIER : « Donnez-moi du périoste et » je ferai de l'os », l'affirmation non moins catégorique de ROBIN (5) : « Pour faire de l'os, il faut de l'os ».

L'avenir, et particulièrement la pratique chirurgicale de la

(1) FLOURENS (P.), *Théorie expérimentale de la formation des os*, p. 4 à 9.

(2) OLLIER (L.), a) *Recherches expérimentales sur la production artificielle des os, au moyen de la transplantation du périoste et sur la régénération des os après les résections et les ablations complètes*, *Journ. de la physiol. de l'Homme et des Animaux*, t. 2, p. 1 à 27 et 169 à 186, 1859.

— b) *Les transplantations osseuses et périostiques sur l'Homme*, *Journ. de la physiol. de l'Homme et des Animaux*, t. 5, p. 59 à 67, 1862.

— c) *Traité expérimental et clinique de la régénération des os et de la production artificielle du tissu osseux*, t. I partie expérimentale, p. 63 à 434. Paris 1867.

(3) SEDILLOT (Ch.), *Traité de l'évidement des os*, p. 317. Paris 1867.

(4) FLOURENS (P.), *Loc. cit.*, p. 66 à 72.

(5) ROBIN (Ch.), *Sur les conditions de l'ostéogénie avec ou sans cartilage préexistant*, *Journal de l'Anatomie et de la Physiologie normales et pathologiques de l'Homme et des Animaux*, t. I, p. 593 à 598, 1864.

dernière guerre devaient dans ce débat donner raison à OLLIER. Il est établi d'une façon formelle que lorsqu'on se place dans les conditions opératoires précisées par lui, on assiste à la régénération, par le périoste, de segments étendus d'os.

OLLIER (1) fut amené à s'occuper à plusieurs reprises de la question de l'allongement des os. Il appliqua, avec une technique rigoureuse, la méthode des repères métalliques étagés tout le long de l'os et il confirma entièrement la manière de voir de FLOURENS. Son attention de chirurgien fut spécialement attirée sur l'importance du cartilage de conjugaison : à peu près en même temps que HUMPHRY (2), et indépendamment de lui, il donna du rôle de cette formation des preuves très convaincantes.

L'ablation expérimentale du cartilage de conjugaison, sa destruction pathologique entraînent l'arrêt de la croissance de l'os en longueur, tandis que les altérations spontanées ou provoquées des autres parties n'ont sur l'allongement qu'une influence négligeable (3).

Malgré la qualité des preuves qu'elle invoquait et malgré l'autorité de ceux qui l'avaient établie, la doctrine de la croissance de l'os par apposition et résorption n'entraîna pas l'adhésion universelle ; elle fut même très précocement combattue avec beaucoup d'énergie et même de violence, spécialement en Allemagne.

E) Travaux de Wolff — A peu près simultanément J. WOLFF et R. WOLKMANN attaquèrent les expériences de Flourens et d'Ollier et se rattachèrent à la théorie de la croissance interstitielle qui avait pu sembler entièrement périmée.

(1) OLLIER (L.), Recherches sur le mode d'accroissement des os. *Archives de Physiologie normale et pathologique*, t. 5, p. 1 à 42, 1873.

(2) HUMPHRY (G. M.) a) Observations on the growth of the long bones and of stumps. *Medic. Surgic. Transact.*, vol. XLIV, 1862 (cité d'après OLLIER, in Recherches sur le mode d'accroissement des os, p. 10).

b) Growth of bone from articular cartilages. *Journ. Anat. and Physiol.*, t. 13, p. 86 à 90, 1879.

(3) OLLIER (L.) a) Traité expérimental et clinique, etc., p. 162 à 170, 276, 277, 377 à 408.

b) Recherches sur le mode d'accroissement, etc., p. 38 à 40.

Les recherches de WOLFF (1) ont eu pour point de départ un travail de H. MEYER (2) qui avait constaté que les travées osseuses du tissu spongieux ont une disposition déterminée et spéciale dans chaque os, quel que soit l'âge auquel on l'examine. Sur l'extrémité supérieure du fémur, plus particulièrement, WOLFF vérifia ce fait dont la réalité est incontestable. A son avis, on ne peut expliquer la constance de la disposition architecturale d'un tissu spongieux dans un os déterminé qu'à la condition d'admettre que chaque particule osseuse prend part à l'accroissement du tout.

WOLFF ignorait, en effet, les processus histologiques complexes qui président à l'édification et au remaniement des pièces osseuses ; les recherches histologiques devaient démontrer dans la suite qu'il existe un processus d'édification très différent de celui qu'il admettait comme une nécessité. Cet auteur tenta d'autre part, en faisant la critique des expériences de FLOURENS et d'OLLIER, de démontrer la réalité de l'accroissement interstitiel.

Selon lui, l'activité ostéogénique du périoste n'est pas démontrée, et en tous cas l'accroissement médullaire par érosion progressive de sa paroi interne est en contradiction avec le fait suivant qu'il a observé à plusieurs reprises : Quand on introduit dans la cavité médullaire un fil métallique, on retrouve fréquemment, au bout de quelque temps, ce fil, non point libre dans l'intérieur de la cavité médullaire, mais très adhérent à la surface interne de l'os, ce qui ne pourrait avoir lieu si l'agrandissement de cette cavité résultait d'un processus d'érosion osseuse, comme l'ont soutenu FLOURENS et OLLIER. C'est pourquoi WOLFF (3) admet l'interprétation de DU HAMEL pour expliquer l'accroissement du canal médullaire et la pénétration à son intérieur de fils métalliques placés autour de la diaphyse.

(1) WOLFF (J.), Ueber die innere Architectur der Knochen und ihre Bedeutung für die Frage vom Knochen wachsthum. *Archiv. f. pathol. Anat. und Physiol. und f. Klin. Med.*, Bd 30, S. 389-449, 1870.

(2) MEYER (H.), Die Architectur der Spongiosa. *Archiv. f. Anat. u. Physiol. u. Wissensch. Med.*, S. 625, u. s. w., 1867.

(3) WOLFF (J.), Ueber die innere Architectur.... S. 433-434.

L'erreur la plus grave de WOLFF est d'avoir systématiquement nié deux faits bien démontrés expérimentalement : l'action ostéogénique du périoste et la résorption osseuse. Comme l'ont fait remarquer PHILIPPEAUX et VULPIAN (1), les faits avancés par WOLFF s'expliquent très bien, si on admet qu'une cavité irrégulière comme le canal médullaire peut s'agrandir en conservant la même configuration, soit que ses parois s'étendent, soit qu'elles subissent, d'un côté, une érosion, en même temps qu'elles sont renforcées sur la face opposée par l'addition de substance osseuse nouvelle.

Nous verrons d'ailleurs que l'étude histologique de l'extension du canal médullaire permet d'expliquer parfaitement les constatations de WOLFF sans qu'il soit nécessaire d'admettre l'accroissement interstitiel des lames osseuses que rien ne démontre objectivement.

WOLFF (2) se basait pour combattre les idées de FLOURENS sur la croissance de l'os en longueur sur l'expérience suivante qu'il est nécessaire de rapporter en détail. Sur le tibia d'un jeune Lapin, on enchâssa trois petites chevilles métalliques : la première dans l'épiphyse inférieure ; la deuxième à 3 millimètres de distance de la précédente, dans la diaphyse, et la troisième enfin à 3 millimètres plus haut. Au bout de treize jours, on constata que la distance entre la deuxième et la troisième cheville était de 5^{mm} 1/2 et que cette même longueur séparait la deuxième cheville de la première. WOLFF concluait qu'il n'y a pas d'apposition localisée au niveau de la ligne diaphyso-épiphyssaire, comme l'avait soutenu FLOURENS : l'allongement ne résulterait donc pas de l'activité du cartilage de conjugaison, mais se produirait par expansion dans toute une zone assez étendue, correspondant à ce que nous appelons aujourd'hui le bulbe de la diaphyse.

F) Critique des travaux de Wolff. — PHILIPPEAUX et VULPIAN (3),

(1) PHILIPPEAUX (J.-M.) et VULPIAN (A.), Note sur le mode d'accroissement des os longs. *Archives de Physiologie normale et pathologique*, t. 3, p. 343, 1870.

(2) WOLFF (J.), Ueber die innere Architectur..., p. 433-436.

(3) PHILIPPEAUX (J.-M.) et VULPIAN (A.), Note sur le mode d'accroissement, p. 339, 340, 341.

OLLIER (1) ont fait de cette expérience une critique magistrale à laquelle on ne peut rien ajouter. Nous ne saurions mieux faire que de la résumer ici.

La méthode des repères métalliques étagés dans les diaphyses et dans les épiphyses est incontestablement la meilleure en principe ; elle comporte cependant des causes d'erreur que WOLFF a certainement ignorées. Si les repères ne sont pas exactement enfoncés dans les os, si leur extrémité libre n'est pas soigneusement abrasée au ras de la paroi osseuse, leur saillie dans les tissus sus-jacents peut entraîner de légers déplacements. Les repères épiphysaires et ceux qui sont placés dans le bulbe de la diaphyse siègent dans un tissu spongieux ; l'irritation qu'ils provoquent peut déterminer à leur contact de l'ostéite raréfiante au bénéfice de laquelle des déplacements peuvent avoir lieu. Mais en admettant même que WOLFF se soit mis à l'abri de ces diverses causes d'erreur, son expérience est passible des critiques les plus graves.

Considérons la figure 2 ci-jointe en quoi se résume l'expérience de WOLFF.

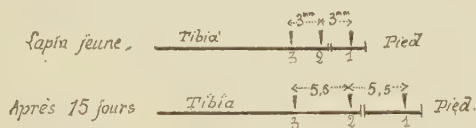


FIG. 2. — Schéma des expériences de WOLFF sur l'accroissement en longueur des os.

La conclusion qu'il en tire est exacte, à condition que les repères 1 et 2 soient vraiment l'un épiphysaire, l'autre diaphysaire, et que le cartilage de conjugaison soit en totalité compris entre les deux fiches.

Or cela n'est rien moins que démontré. Le cartilage de conjugaison a une certaine épaisseur ; de plus, sa direction n'est pas exactement transversale par rapport à l'axe de l'os ; c'est, au contraire, une lame gondolée qui se moule sur les irrégularités des surfaces opposées de la diaphyse et de l'épiphyse.

(1) OLLIER (L.), Recherches sur le mode d'accroissement..., p. 27 à 40.

On ne peut pas affirmer, vu le faible écartement de 3 millimètres donné aux repères 1 et 2, que la cheville n'a pas pénétré plus ou moins profondément dans le cartilage de conjugaison, ce qui expliquerait qu'au bout de quinze jours le repère 2, soi-disant diaphysaire, s'est éloigné du repère 3, vraiment diaphysaire, comme le repère 1 s'est éloigné du repère 2.

Les mêmes critiques s'appliquent aux expériences faites postérieurement par EGGER (1) sur le radius du jeune Lapin. Cet auteur a utilisé comme repère des cheveux de femme, en raison de leur souplesse et de leur finesse : ils sont, en effet, incapables de provoquer par leur présence des ruptures des lames osseuses au cours de l'accroissement.

Ces repères étaient enfoncés par transfixion totale de l'os par une aiguille, à 1 millimètre de part et d'autre du cartilage de conjugaison ; on les immobilisait par deux nœuds au niveau de leurs extrémités libres.

Il n'est pas besoin d'insister davantage pour montrer que cette technique est comparable, au choix du repère excepté, à la méthode utilisée par WOLFF. Elle est passible des mêmes objections, car rien ne prouve que des repères si voisins aient été sûrement placés dans la diaphyse et dans l'épiphyse, de part et d'autre du cartilage de conjugaison.

G) Travaux de Wolkman. — WOLKMAN (2) s'appuyait, pour défendre l'allongement des os par le mécanisme interstitiel, sur des considérations d'ordre chirurgical. Il déclarait que, dans les fractures juxta-articulaires de l'enfant, on ne constate pas dans la suite de la croissance d'écartement entre le col et l'articulation, ce qui devrait nécessairement se produire si le cartilage de conjugaison présidait réellement à l'allongement de l'os.

Pareille fixité s'observe pour les exostoses juxta-épiphysaires qui se produisent parfois au cours de la croissance.

(1) EGGER (G.), Experimentelle Beiträge zur Lehre Vom interstitiellen, Knochenwachsthum. *Archiv. f. path. Anat. und Physiol. u. f. Klin. Mediz.*, Bd. 99, S. 7 u 8, 1863.

(2) WOLKMAN (R.), Notiz betreffend das interstitielle Knochenwachsthum. *Centralbl. f. d. Mediz. Wissensch.*, S. 129, 26 Februar 1870.

H) Critique des travaux de Wolkmann. — C'est encore OLLIER (1) qui a fait une critique victorieuse de cette opinion. Il a montré par ses propres observations et par celles de nombreux chirurgiens que les affirmations de WOLKMANN sont en contradiction avec les faits. Dans les fractures juxta-épiphyssaires, en effet, le cal s'éloigne toujours plus ou moins de l'articulation, à moins que le cartilage de conjugaison n'ait été désorganisé par le traumatisme, ce qui entraîne, suivant la gravité et l'étendue des lésions, un arrêt plus ou moins complet de la croissance de l'os.

De même, de nombreuses observations montrent que les exostoses juxta-épiphyssaires de la croissance ne restent pas fixes par rapport à l'articulation, comme l'affirme WOLKMANN.

Elles s'en écartent dans des proportions variables pendant que l'os s'allonge (2).

1) Recherches de Latarjet. — Il y a quelques années à peine, LATARJET (3) entreprit de nouvelles recherches sur le mode d'allongement des os des membres. Les expériences portèrent sur le Lapin, le Chien, le Chat et le Chevreau. La méthode des fiches métalliques, étagées à diverses hauteurs, fut utilisée ; l'auteur s'est préoccupé aussi d'étudier l'influence sur la croissance des os en longueur des résections diaphysaires étagées et de l'ablation des cartilages de conjugaison. LATARJET opérait dans ces conditions d'asepsie rigoureuse et il a indiqué un procédé opératoire ingénieux pour déterminer avec précision l'écartement initial de ses repères.

Dans ces expériences, l'auteur a vu des fiches, étagées dans la région bulbo-diaphysaire, s'écarter les unes des autres ; il en conclut légitimement à l'existence d'un accroissement interstitiel limité aux parties extrêmes de la diaphyse, sans nier toutefois, que le cartilage de conjugaison joue un rôle dans l'allongement de l'os. Son interprétation tend, en somme, à concilier la

(1) OLLIER (L.), Recherches sur l'accroissement..., p. 22 et 23.

(2) SOULIER (P.-H.), Du parallélisme parfait entre le développement du squelette et celui de certaines exostoses. Thèse de méd. Paris n° 21, 1864.

(3) LATARJET (A.), Résultats expérimentaux sur l'accroissement des os en longueur. *C. R. Associat. des Anat.*, 14^e Réunion, Rennes, p. 72 à 90, 1912.

conception de l'accroissement appositionnel avec la doctrine de la croissance interstitielle ou par expansion ; le cartilage de conjugaison fait de l'accroissement appositionnel, la région du bulbe de la diaphyse est le siège d'une croissance interstitielle.

J) Expériences de G. Dubreuil. — G. DUBREUIL (1), qui étudiait histologiquement l'os depuis longtemps, fut extrêmement troublé par les résultats de son collègue dont il connaissait la haute probité scientifique. Persuadé que la discordance des résultats obtenus jusqu'alors tenait essentiellement à des imperfections de la technique expérimentale, il fut amené à aborder la question par une voie nouvelle.

Le procédé employé fut la méthode des repères métalliques combinés à la radiographie.

La pose et le choix des repères ne comporte dans ces expériences rien de bien particulier, hormis l'observation rigoureuse des précautions édictées par OLLIER. Les repères utilisés furent des grains de plomb lorsque l'épaisseur de la coque d'os périostique était suffisante, comme chez le Chevreau, ou des aiguilles métalliques dans le cas des os à paroi mince du Lapin.

Après la pose des repères au niveau des points convenables, on prend, dans des conditions rigoureusement déterminées, un cliché radiographique du membre. Grâce à la différence de pénétration de l'os et du métal par les rayons on obtient une image très nette dans laquelle l'os et les repères sont simultanément présents ; cette image constitue un document durable qui fixe d'une manière précise l'état initial de l'expérience.

Lorsque le temps fixé pour la fin de l'observation est arrivé, on procède à une nouvelle radiographie du membre en se plaçant dans les mêmes conditions que la première fois : on comprend sans peine que l'observation rigoureuse de cette règle est indispensable.

Dès lors, les radiogrammes obtenus au début et à la fin de l'expérience sont comparables entre eux, et on peut soit par

(1) DUBREUIL (G.), Sur le mode d'accroissement des os des Mammifères. Communication et discussion. *C. R. Assoc. des Anatomist.*, 13^e Réunion, Lausanne, p. 89-99, 1913.

mensuration sur les clichés, soit encore mieux et plus simplement par superposition de ceux-ci, apprécier très exactement les modifications qui sont survenues dans la situation respective des divers repères. Le procédé possède en outre des avantages qu'il est bon de souligner. Il donne la possibilité de multiplier au gré de l'expérimentateur, les observations sur le même animal, pendant toute la croissance, ce qui offre un intérêt non négligeable pour le budget des laboratoires. De plus, il permet, par la comparaison des diverses images, de reconnaître non seulement les déplacements normaux des repères, mais encore de déceler les déplacements anormaux, fortuits, qui faussent les résultats. Il arrive, en effet, plus souvent qu'on ne pense, que les fiches métalliques subissent au cours de leur séjour dans l'os des mouvements de bascule soit du côté de la pointe, soit du côté de la tête. Cela tient à ce que, au contact des corps étrangers, il se produit une raréfaction osseuse qui agrandit plus ou moins le trou créé par l'insertion à frottement dur des repères. Ce phénomène est bien connu des chirurgiens. Ces mouvements de bascule, s'ils ne sont pas reconnus, et ils le sont exactement par ce procédé, peuvent conduire, au moment de la mensuration finale, à des chiffres qui en imposent pour un allongement ou même pour un raccourcissement suivant le sens du déplacement.

Les expériences de G. DUBREUIL, appuyées par des documents d'une haute valeur objective, l'ont conduit aux conclusions suivantes qui sont des plus explicites :

« L'accroissement interstitiel n'existe ni dans la diaphyse, ni » aux extrémités de celle-ci dans les bulbes diaphysaires.

» Les seules régions qui contribuent d'une façon active à l'accroissement des os long sont :

» a) D'une part, le cartilage de conjugaison pour une très grosse part;

» b) D'autre part, le cartilage d'encroûtement ou cartilage articulaire pour une très faible part;

» c) Le périoste, qui conserve toujours son rôle d'accroisse-

» ment et de modelage de l'os qui n'a pas été mis en doute
» depuis OLLIER » (1).

C'est surtout sur les os longs des diaphyses et sur le tibia principalement qu'ont porté les recherches expérimentales ci-dessus exposées, en raison même de la situation superficielle de cet os et de son abord facile.

Malgré le désaccord des auteurs, les faits suivants nous paraissent définitivement acquis : L'accroissement des os longs s'effectue essentiellement par un processus d'apposition. Les résultats qui ont permis de croire à une croissance diffuse s'expliquent facilement par des erreurs de technique qu'il est facile de déceler. Chaque fois que les expérimentateurs ont évité ces erreurs, les faits ont montré que la croissance était nécessairement le résultat d'un processus d'apposition combiné à des phénomènes d'érosion.

Ces expériences montrent aussi que ce mécanisme est général dans l'os long : il s'applique non seulement aux parties osseuses précédées d'un modèle cartilagineux, mais aussi à l'os périostique développé directement en milieu conjonctif.

II. — **Expériences sur le crâne.**

Les os de la base du crâne ne se prêtent guère à l'étude expérimentale de l'accroissement du tissu osseux pour des raisons que l'on imagine aisément; par contre, les os de la voûte, facilement accessibles, ont été à cet égard l'objet de recherches assez nombreuses. L'intérêt de ces investigations est double, car elles ont visé à la fois le problème de la croissance des pièces osseuses et celui de l'accroissement de la cavité crânienne elle-même.

a) **Expériences de von Gudden et de Egger.** — VON GUDDEN (2). à ma connaissance, fut le premier à aborder le problème par la méthode expérimentale. Il a publié sur ce sujet un important ouvrage dont l'analyse est des plus ardues. Le style de GUDDEN

(1) DUBREUIL (G.), Sur le mode d'accroissement, etc., p. 99.

(2) VON GUDDEN (B.), Experimental. Untersuchungen über das Schaedelwachsthum. Munchen, 1874.

est lourd et l'expression de sa pensée si obscure que je ne suis pas certain de l'avoir toujours exactement comprise, malgré les précautions dont je me suis entouré. Cependant, la conception générale de l'auteur et la relation des expériences les plus importantes ne laissent place à aucune erreur d'interprétation.

D'après lui, la croissance en épaisseur des os de la voûte du crâne est due au dépôt successif de couches osseuses nouvelles par le périoste d'un côté et par la dure-mère sur la face opposée ; leur accroissement en surface se fait par prolifération des bords des os.

Mais ce processus appositionnel n'existe pas seul ; l'augmentation de l'épaisseur, en effet, aussi bien que l'extension en surface, se fait aussi, en partie, par un processus de croissance interstitielle portant sur les parties osseuses déjà édifiées ; ce processus est d'autant plus actif qu'il porte sur des régions osseuses plus jeunes ; son intensité est donc maxima au niveau des bords des os et au niveau de leurs faces.

Pour ce qui est de l'érosion osseuse, l'auteur affirme qu'elle n'existe pas, au moins à l'état normal, dans des conditions telles qu'on puisse lui attribuer un rôle dans l'accroissement (1).

Von GUDDEN a établi des conclusions sur des expériences de valeur très inégale ; nous ne voulons retenir ici que celles qui apparaissent, à première vue, comme les plus probantes.

Sur la voûte du crâne de jeunes Lapins âgés de trois jours seulement, il pratiqua des perforations circulaires à l'aide d'une fine alène métallique triangulaire ; l'écartement initial est soigneusement déterminé. Au bout d'un temps variant entre trois et six semaines les animaux furent sacrifiés et leurs crânes dépouillés. Les constatations furent alors les suivantes : persistance des orifices de trépanation, et existence d'une augmentation de la distance qui les séparait initialement. Ce dernier phénomène ne peut s'expliquer autrement que par la croissance interstitielle de l'os ; il varie, d'ailleurs, suivant les régions étudiées du crâne, et aussi, naturellement, avec la durée de l'expérience (2).

(1) Von GUDDEN (B.), Experiment. Untersuchungen..., S. 24.

(2) Von GUDDEN (B.), Experiment. Untersuchungen..., S. 25-27.

Les recherches de v. GUDDEN furent reprises trois ans plus tard par WOLFF (1) qui, comme nous l'avons vu à propos des os longs, avait soutenu la conception de la croissance diffuse. En se plaçant dans les mêmes conditions expérimentales que v. GUDDEN l'auteur obtient des résultats analogues.

EGGER (2), élève de v. GUDDEN, ému des critiques très sévères dont le travail de son maître avait été l'objet, entreprit, en 1885, de nouvelles recherches sur le mécanisme de la croissance des os en général. Nous avons dit plus haut que ses travaux sur les os longs amenèrent à confirmer entièrement la théorie de la croissance interstitielle.

En ce qui concerne les os du crâne, EGGER, procédant comme GUDDEN lui-même et sous son contrôle, constate, entre les repères, des écartements encore plus évidents que ceux qui avaient déjà été observés avant lui.

Le travail de v. GUDDEN, dès le moment où il parut, fut en effet accueilli de divers côtés avec la plus grande réserve.

WEGNER (3) pensa que le choix des repères employé est mauvais : il émit l'hypothèse que les perforations se combleraient progressivement des bords vers le centre et qu'il en résulte, à la fin de l'expérience, un écartement apparent.

B) Expériences de Schwalbe. — Schwalbe (4), qui s'était rallié, depuis plusieurs années déjà, à la conception de la croissance appositionnelle, fut un des adversaires les plus déterminés de v. GUDDEN. Il invoqua contre l'hypothèse générale de l'accroissement interstitiel des arguments d'ordre divers, dont quelques-uns,

(1) WOLFF (J.), Ueber dem Gudden'schen Markierversuch. am Kaninchen Schädel. *Verhandlungen der physiologischen Gesellschaft*, in Berlin 1877, cité d'après EGGER, *Experiment. Beiträg*, S. 2 u. 3.

(2) EGGER (G.), Experimentelle Beiträge zur Lehre vom interstitiellen Knochenwachsthum. *Arch. f. patholog. Anat. u. Physiol. und f. Klin. med.*, Bd. 99, S. 11, 18, 1885.

(3) WEGNER (G.), Ueber das normale und pathologische Wachsthum der Röhrenknochen. *Arch. f. path. Anat. und Physiol. und f. Klin. Med.*, Bd. 61, S. 62 u 63, 1874.

(4) SCHWALBE (G.), Ueber Ernährungskanäle und das Knochenwachsthum. *Zeitschr. f. Anat. u. Entwicklungsgesch.*, Bd. 1, 1876. Cité d'après EGGER, *Experimental Beiträge*..., S. 13.

il faut bien l'avouer, sont sans grande portée. Mais il faut retenir que, voulant se faire une opinion personnelle, il répéta sur des Lapins, un peu plus âgés que ceux de v. GUDDEN, les expériences dont les résultats lui paraissaient inexacts. Dans ces conditions SCHWALBE n'a jamais pu constater d'écartement des trous au niveau de la voûte crânienne, quelle que fût la région observée et quelle que fût la durée de l'expérience (1).

C) Recherches de Maas. — MAAS (2), élève de VIRCHOW, a publié de remarquables travaux, pleins de vues parfaitement justes sur les phénomènes histologiques que l'on observe au cours de la constitution des pièces osseuses.

La question de l'accroissement a été abordée dans ce travail par la méthode expérimentale des repères métalliques ; l'auteur essaya même de contrôler ses résultats par des observations microscopiques et on ne manque pas d'être surpris par les procédés ingénieux qu'il utilisait à cette époque où la technique histologique était encore rudimentaire.

MAAS (3) se prononça nettement contre l'hypothèse de l'accroissement interstitiel dans les os longs. Ses conclusions sont aussi fermes pour ce qui regarde les os de la voûte du crâne.

Comme WEGNER, il considérait avec raison que les repères utilisés par v. GUDDEN étaient défectueux, en raison des modifications que des trous creusés dans ces os en voie de croissance sont sujets à subir au cours de la période plus ou moins longue qui sépare le début de l'expérience de l'état final. Il observa, en effet, d'une façon positive que, sur le crâne des jeunes Chiens, de tels orifices se comblent et deviennent invisibles.

(1) SCHWALBE (G.), Ueber den Gudden'sche Markierversuch. und seine Bedeutung für die Lehre vom Knochenwachsthum. *Sitzsingsb d. Iena'schen Geselsch. f. med. u. Naturwissensch.*, 1878. (Cité d'après EGGER, *Experiment. Beiträge...*, S. 3 u. 4 u. 8.

(2) MAAS (H.), Ueber das Wachstum und die Regeneration der Rohrenknochen. *Arch. f. Klin. chirurg.*, Bd. 20, S. 709-770, 1877.

(3) MAAS (H.) a) Ueber das Wachsthum... S. 730-736.

— b) Die Deutung des v. Gudden'schen Markierversuches am Kaninchen Schädel. *Archiv. f. Kl. chirurg.*, Bd. 23, p. 333-338, 1878.

C'est pourquoi MAAS refit des expériences comparables à celles de v. GUDDEN, mais en s'adressant à de jeunes Chiens de sept jours et en utilisant la méthode des repères métalliques. Des fils de platine repliés de manière à former de petits rectangles furent insérés dans divers points de la voûte crânienne ; on détermina, exactement, l'écartement initial de ces index et on conserva les animaux pendant six semaines. Au bout de ce temps, on remarqua que les repères avaient été recouverts par des couches d'os nouveau, et on constata que leur écartement n'avait pas augmenté pendant la croissance.

L'expérimentation pour les os de la voûte comme pour les autres os aboutit à des conclusions contradictoires ; un examen critique des résultats montre que cette discordance est explicable.

D) Critique et Discussion. — Les expériences de v. GUDDEN, d'EGGER et de WOLFF sont viciées, à notre avis, dans leur principe même par le choix d'un repère défectueux. Il est difficile d'admettre que des trous creusés dans un os en voie de croissance ne subissent pas pendant la survie de l'animal des changements profonds qui modifient l'état des perforations. FLOURENS, puis OLLIER dans leurs expériences sur les os longs ont fait de ce mode de repérage une critique fort juste, à laquelle il n'y a rien à ajouter. D'ailleurs MAAS n'a-t-il pas constaté, chez le Chien il est vrai, le comblement des trous.

Lorsque des repères indéformables comme les repères métalliques ont été utilisés (Maas), on n'a observé aucune modification dans leur situation au bout de six semaines.

On peut se demander aussi si les écartements observés ne s'expliquent pas, en partie tout au moins, par des erreurs de mensuration. La question se pose spécialement pour la plupart des expériences de v. GUDDEN, où l'écartement des repères fut toujours faible et varia suivant les régions observées entre 0^{mm}3, chiffre minimum, et 4^{mm}7, chiffre maximum. On conviendra aisément que les faibles différences peuvent tenir, non point à une croissance interstitielle, que rien ne démontre par ailleurs, mais en partie au moins à des modifications des repères et à des erreurs de mesure.

D'une façon générale, d'ailleurs, après avoir examiné des crânes de Lapins âgés de trois jours, nous pensons que c'est là un mauvais sujet d'étude. La petitesse du crâne, la fragilité des os de la voûte rend très difficile la pose exacte des repères par rapport aux sutures osseuses, très malaisés à repérer sur le crâne dont les téguments ont été seulement incisés et écartés. Nous nous sommes convaincu par l'expérience que des erreurs de lieu étaient fréquentes et nous ne sommes pas sûr que v. GUDDEN, WOLFF et EGGER en posant leurs repères à des distances très faibles des sutures les aient toujours évitées. Cela explique peut-être aussi pourquoi Schwalbe opérant sur des crânes de Lapins de trois semaines, beaucoup plus volumineux par conséquent, et abordables avec plus de précision, n'ait observé dans ses expériences aucun écartement.

Il faut remarquer, enfin, que ces expérimentateurs n'ont pas tenu compte des phénomènes histologiques qui président à la formation et à la croissance des os qu'ils ont étudiés ou qu'ils en ont sous-estimé l'importance. Cet oubli du principe des méthodes convergentes est peut-être la source profonde de leurs erreurs.



En résumé, l'étude critique des expériences faites jusqu'ici sur l'accroissement du tissu osseux des diverses espèces observées permet de constater que la croissance interstitielle des pièces osseuses, quelles qu'elles soient, n'a jamais été démontrée d'une façon précise.

Les faits qui tendraient à prouver que l'os s'accroît par toutes ses parties, par expansion, relèvent soit de l'emploi de repères défectueux, soit d'une position impropre des index, soit de déplacements passifs et accidentels tenant aux altérations osseuses provoquées par l'insertion de corps étrangers mal tolérés. Dans un certain nombre de cas il y a lieu d'invoquer aussi des erreurs probables de mensuration, ou l'emploi d'objets d'étude défavorables.

Toutes les fois que les expérimentateurs se sont mis à l'abri

de ces causes d'erreur. qu'ils ont éliminé le facteur personnel dans l'appréciation des résultats et qu'ils ont utilisé concurremment des méthodes variées, ils ont constaté que l'os ne s'accroît pas dans toutes ses régions, mais seulement au niveau de certains endroits bien déterminés, véritables zones fertiles où de l'os nouveau vient s'ajouter aux parties déjà édifiées.

CHAPITRE II

***Processus histologiques généraux de l'ossification.
La croissance des os est le résultat de phénomènes
d'apposition. Rien ne démontre histologiquement la
croissance interstitielle.***

I. — Processus histologiques de l'accroissement des os développés dans le cartilage.

1° Les os longs. — Les mêmes processus généraux sont utilisés pour l'accroissement des os longs précédés d'un modèle cartilagineux et pour l'accroissement des os du crâne ; ils sont bien connus et suffisamment exposés dans les Traités d'histologie (1) et dans quelques mémoires originaux pour n'avoir pas à les rappeler en détail ici.

Il peut être utile cependant de les exposer succinctement en montrant que ces constatations histologiques mettent en évidence des phénomènes *d'accroissement par apposition*, tandis qu'il est nécessaire de faire des hypothèses entièrement gratuites pour supposer un *accroissement interstitiel*.

Deux espèces cellulaires interviennent dans le processus d'ossification :

a) *Les ostéoblastes*, cellules uninucléées, anastomosées entre

(1) KÖLLIKER (A.), *Handbuch der Gewebelehre des Menschen*. Bd. I, S. 314, 353. Leipzig 1889.

RENAUT (J.), *Traité d'histologie pratique*, t. I, p. 446, 478, Paris 1889.

PRENANT (A.), BOUIN (P.), MAILLARD (L.), *Traité d'histologie*, t. II, p. 201 à 232, Paris 1911.

DUBREUIL (G.), L'ossification chez les Mammifères. Exposé sommaire et didactique du développement des os. *Lyon chirurgical*, t. 8, p. 164 à 202, 1912.

elles, agents édificateurs, sécrétant sur un support préexistant (cartilage, fibres conjonctives) l'osséine, substance fondamentale de l'os qui se calcifie ultérieurement.

b) Les ostéoclastes ou polycaryocytes de ROBIN, cellules multinucléées le plus souvent, agents destructeurs, qui détruisent l'os déjà formé, dans un but de remaniement ou de modelage. Leur fonction n'est plus guère discutée depuis KÖLLIKER (1). Nous aurons l'occasion de les étudier d'une façon plus complète, à propos de faits particuliers et personnels dont il sera question dans la suite.

A) POINT D'OSSIFICATION PRIMAIRE D'UN OS LONG. — Les os longs sont précédés d'un modèle cartilagineux, image très réduite et grossière de l'os définitif. Rappelons par une simple énumération les phénomènes histologiques qui marquent sa formation.

a) Vers le milieu de la longueur du modèle cartilagineux, apparition entre le périchondre et le cartilage d'une virole d'osséine : croûte osseuse périchondrale. Du même coup le périchondre devient périoste.

b) Modifications concomitantes préossificatrices du cartilage. Le cartilage enfermé dans la croûte périchondrale se transforme : les cellules deviennent sphériques et volumineuses : cartilage à cellules hypertrophiques. La substance fondamentale forme entre les cellules des cloisons étroites qui s'imprègnent de sels calcaires : cartilage à cellules hypertrophiques, calcifié.

c) Érosion de la croûte osseuse périchondrale et des cloisons cartilagineuses calcifiées par des ostéoclastes, pénétration des vaisseaux sanguins avec du tissu conjonctif embryonnaire dans les trous de la croûte osseuse et les cavités du cartilage.

d) Dépôt très discret par les ostéoblastes d'osséine sur les restes des cloisons cartilagineuses calcifiées : os enchondral rudimentaire.

Le point d'ossification primaire est constitué dans le milieu

(1) KÖLLIKER (A.), *Die Normale Resorption des Knochengewebes und ihre Bedeutung für die Entstehung des typischen Formen*. S. 21. 28 Leipzig, 1872.

de la diaphyse d'un os long. Il est formé par une couche périphérique d'os *périostique*, développé en milieu conjonctif pur, et d'os *enchondral*, développé à la surface de travées cartilagineuses.

B) EXTENSION DU MODÈLE CARTILAGINEUX. ÉTABLISSEMENT DE DEUX LIGNES D'OSSIFICATION. — Le modèle cartilagineux, désormais séparé en deux moitiés enchâssées aux deux bouts de la virole osseuse périchondrale, s'accroît en longueur par multiplication de ses cellules et apport interstitiel de substance fondamentale.

La cavité creusée dans le cartilage doit être considérée comme *un canal médullaire primitif*; elle a tendance à s'étendre vers les deux extrémités de la virole osseuse; peu à peu le processus de résorption du cartilage se régularise et on voit apparaître aux deux extrémités du canal médullaire la *ligne* ou *zone d'ossification enchondrale*. Ces deux zones sont constituées, en allant du cartilage vers le canal médullaire, par les couches suivantes :

a) Cartilage hyalin à cellules rondes (accroissement lent).

b) Cartilage sérié, cellules en division rapide, disposées en groupes isogéniques axiaux (accroissement rapide et considérable).

c) Cartilage à cellules hypertrophiques (allongement considérable).

d) Cartilage calcifié, substance fondamentale imprégnée de sels calcaires.

e) Ligne d'érosion, surface suivant laquelle les capsules cartilagineuses sont éventrées, ouvertes suivant la direction axiale; réserve des cloisons de substance qui séparent les files de cellules, ces cloisons deviennent les travées directrices de l'os enchondral. Les vaisseaux ossificateurs montent dans les files cellulaires ouvertes, accompagnés de tissu conjonctif embryonnaire.

f) Zone ostéoïde, une partie des travées directrices a disparu, la majeure partie subsiste. Des ostéoblastes s'appliquent sur ces travées en ordre épithélioïde, secrètent de l'osséine et s'y englo-

bent, devenant cellules osseuses. Il y a toujours beaucoup plus d'ostéoblastes qu'il ne restera de cellules osseuses.

g) *Zone ossiforme*, la majeure partie des travées directrices, même celles qui sont revêtues d'osséine, ont disparu. Celles qui restent forment une dentelle, un réseau dont les mailles s'appuient sur la périphérie contre l'os périostique qui l'entoure, avec interposition d'une mince couche de substance fondamentale cartilagineuse calcifiée, reste de la bande décurrente du cartilage.

L'os enchondral s'allonge donc par l'allongement continu des travées directrices cartilagineuses qui, au fur et à mesure que la surface d'érosion les dépasse, sont recouvertes par des couches d'osséine calcifiée avec cellules osseuses. C'est donc un *accroissement appositionnel*; aucun fait ne démontre l'existence d'un accroissement interstitiel.

Les festons qui marquent la place des cellules cartilagineuses le long des travées directrices du cartilage ne sont ni plus, ni moins grands à la ligne d'érosion, ou dans la zone ossiforme, donc il n'y a pas d'accroissement interstitiel dans le cartilage revêtu d'os.

Le processus d'accroissement interstitiel, dans le cartilage, zone du cartilage sérié et du cartilage à cellules hypertrophiques s'oppose ici très nettement à l'accroissement appositionnel qui se manifeste dès qu'une couche d'osséine a revêtu les travées directrices cartilagineuses.

Une couche de cartilage de 1 à 2 millimètres d'épaisseur suffit à l'accroissement de plus de 1 décimètre d'os. Il faut, par contre, 1 décimètre d'os enchondral pour allonger la diaphyse de 1 décimètre.

C) *ROLE ET SORT DE L'OS ENCHONDRAL*. — L'os enchondral n'est qu'un moyen de liaison entre le cartilage épiphysaire et l'os périostique. Il disparaît au fur et à mesure de l'allongement du canal médullaire. Il n'en reste plus trace dans l'os définitif.

L'os enchondral a le même sort dans le crâne.

D) *OS PÉRIOSTIQUE DIAPHYSAIRE*. — C'est l'os qui montre le mieux le processus appositionnel, sans discussion possible.

La croûte osseuse périchondrale, devenue lamelle la plus

interne d'os périostique, s'accroît en longueur au fur et à mesure que les zones d'ossification s'éloignent l'une de l'autre et du milieu de l'os. Elle reste toujours en liaison avec le cartilage, et par la bande décurrente elle est en liaison indirecte avec l'os enchondral. Le périchondre se transforme de proche en proche en périoste et apporte de la nouvelle osséine, qui allonge incessamment le biseau de coupe à l'extrémité de la lamelle osseuse.

L'accroissement en diamètre est encore plus instructif. Vers le milieu de l'os, une nouvelle lame osseuse, concentrique à la première, apparaît, séparée de celle-ci par un espace de tissu conjonctif embryonnaire et des vaisseaux. Une troisième lame apparaît à distance de la seconde, concentrique aussi. Une quatrième, une cinquième lamelle, etc., apparaissent toujours extérieures, toujours concentriques, toujours à distance de la précédente. Ces lamelles sont reliées les unes aux autres par des ponts de substance osseuses disposés en sens diamétral.

On ne saurait nier ici le phénomène d'apposition, il est encore plus net que la formation des couches superposées du liber pour l'accroissement en diamètre du tissu ligneux de certains végétaux.

E) REMANIEMENT DE L'OS (CANAL MÉDULLAIRE, OSSIFICATION SECONDAIRE). — L'accroissement en longueur et en diamètre du canal médullaire fait disparaître complètement l'os enchondral. L'accroissement diamétral du canal atteint en outre les lames les plus internes d'os périostique, pendant que de nouvelles couches externes s'ajoutent sous le périoste et accroissent l'épaisseur de l'os périostique.

La formation du canal médullaire est le fait propre du travail de résorption des ostéoclastes. Aucun autre phénomène n'intervient. On a déjà la notion de l'importance de la résorption osseuse par ces cellules multinucléées.

Plus tard, l'os périostique est creusé de canaux lacunes de Howship, œuvre nouvelle des ostéoclastes ; ces cavités se combinent par le dépôt de couches concentriques d'osséine dues aux ostéoblastes. Il se forme ainsi des systèmes de Havers et l'os havérien remplace progressivement l'os périostique.

Ces phénomènes d'ossification secondaire se produisent également dans les os de la base du crâne. Dans la voûte et certaines parties de la base des phénomènes du même ordre, un peu différents, quant à leur allure et quant à leurs résultats, aboutissent à la formation d'os spongieux. Ils sont comparables à ceux qui se produisent dans les épiphyses, lors de l'édification des travées architecturales et de l'os spongieux, par conséquent dans les régions d'os enchondral. Ils sont un peu particuliers et aboutissent à la médullisation de l'os périostique, dans les régions d'os périostique de la base et dans les os de la voûte.

L'ossification secondaire est surtout un phénomène de substitution d'os nouveau et mieux adapté à sa fonction à un modèle osseux provisoire, avec ou sans conservation des parties utiles ou inutiles de ce premier os.

F) POINTS SECONDAIRES D'OSSIFICATION. CARTILAGE DE CONJUGAISON ; SA DISPARITION. — L'étude des points d'ossification secondaires du cartilage de conjugaison, de la jonction de la diaphyse et de l'épiphyse n'est pas nécessaire ici. On sait que le même processus de formation d'os enchondral qui a été utilisé dans la diaphyse l'est encore dans l'épiphyse.

Le cartilage de conjugaison a la structure du cartilage d'ossification ; *il ne fournit de l'os que d'un seul côté*, côté diaphysaire ; il est stérile du côté de l'épiphyse. Lorsque l'os atteint sa longueur définitive, il est morcelé par le processus ossificateur : ses débris sont résorbés par les ostéoclastes. Sa trace reste longtemps visible sous forme d'une lame osseuse, la semelle osseuse épiphysaire, qui ne disparaît qu'au moment des remaniements secondaires.

2° Os plats. — L'identité des phénomènes histologiques, en l'absence de preuves expérimentales directes, permet de conclure que l'accroissement, ici comme ailleurs, résulte d'un mécanisme appositionnel et il n'est pas nécessaire de faire intervenir le processus de croissance interstitielle que rien ne démontre.

Les phénomènes histologiques que nous venons de décrire à propos des os longs s'observent avec la même netteté et la même signification dans les os plats précédés d'un modèle cartilagineux, tels que l'omoplate et l'os coxal par exemple.

Sans qu'il soit besoin d'insister sur ce point, rappelons que dans le cartilage où se développera l'omoplate il apparaît tout d'abord un point primitif d'ossification dans la région de la fosse sous-scapulaire ; ce point s'étend en rayonnant vers les bords de l'os et la cavité glénoïde, il correspond au point diaphysaire d'un os long.

L'ossification enchondrale y présente en effet les mêmes caractères que dans les diaphyses et n'en diffère que par le sens de l'extension qui est circonférencielle au lieu d'être axiale.

Au cours du développement apparaissent 7 points secondaires d'ossification. Ils se développent comme l'os épiphysaire et restent séparés par de véritables cartilages de conjugaison de la portion représentant l'os diaphysaire. Le jeu de ces cartilages de conjugaison préside ainsi, pour une part, à l'accroissement de l'os suivant un processus rigoureusement appositionnel. La région du bord externe de l'omoplate reste longtemps cartilagineuse. Cette bande cartilagineuse s'ossifie progressivement par extension dans son intérieur du point primaire : et à ce niveau, le cartilage sérié de la zone d'ossification assure l'élargissement de l'os jusque vers l'âge de 18 à 20 ans chez l'Homme, moment où apparaissent dans le cartilage un point d'ossification marginal et un point pour l'angle inférieur. Ces deux points se réunissent entre eux, puis se soudent avec le point principal. Cette fusion réalisée vers l'âge de 20 à 25 ans chez l'Homme marque la fin de l'accroissement.

II. — Processus généraux de l'ossification des os du crâne.

Parmi les os qui assurent la limitation de la cavité crânienne, les uns se développent dans le cartilage, les autres apparaissent directement dans le tissu conjonctif. Les premiers, ou os primaires, sont : l'occipital, dans sa presque totalité, les phénoïde, l'ethmoïde (qui nous intéresse seulement par sa lame criblée et par sa cloison médiane), la portion pétreuse du temporal.

Les autres, os secondaires, sont le frontal, le pariétal et

l'interpariétal ; nous éliminons ici l'écaille temporale qui, dans le crâne du Mouton spécialement étudié, ne participe pas à la limitation directe de la cavité cranienne.

1° **Les os primaires.** — Les nombreux points d'ossification qui entrent dans la constitution des os primaires du crâne n'apparaissent pas autrement que les points d'ossification des diaphyses. Fusionnés ou indépendants, ces points d'ossification s'étendent dans le cartilage au moyen d'une ligne d'ossification comparable à celle dont nous avons rappelé plus haut la constitution générale. C'est ainsi, par exemple, qu'on peut observer avec beaucoup de netteté, ces phénomènes dans la formation du basi-occipital, des ex-occipitaux, du basi-sphénoïde, du pré-sphénoïde, avec cette seule différence que ces points, au lieu d'apparaître dans des modèles cartilagineux individualisés, se constituent dans une masse cartilagineuse commune qu'ils fragmentent.

Autour des points osseux enchondraux, le périchondre se transforme en périoste, comme dans les os longs, et dépose des lames successives et superposées d'os périostique qui renforcent progressivement l'ébauche osseuse enchondrale. Ces lamelles sont reliées entre elles par des travées obliques et elles s'épaississent progressivement par apposition successive de couches d'osséine sur leurs faces, ce qui rétrécit peu à peu les espaces conjonctifs interlamellaires et aboutit à la densification de l'os périostique.

En résumé, les os du crâne apparaissant dans le cartilage utilisent, dans leur formation et dans leur croissance, des processus histologiques identiques à ceux que l'on observe pour les os longs et les os plats précédés d'un modèle cartilagineux. Les constatations faites au sujet de la théorie de la croissance par apposition sont valables pour tous ces os quelles que soient leur forme et leur situation ; aucun fait histologique ne peut être invoqué en faveur de la conception de la croissance interstitielle ou diffuse. Les phénomènes spéciaux de l'ossification des os du crâne seront développés ailleurs. Ils ne modifient en rien cette donnée générale.

2° Os secondaires. — A) **DONNÉES GÉNÉRALES.** — Les os de la voûte du crâne, à l'exception de la portion de l'écaille occipitale développée en milieu cartilagineux, se forment directement dans le tissu conjonctif modelé par des procédés histologiques rappelant de bien près ceux de l'ossification périostique.

La voûte membraneuse du crâne est constituée en allant de dehors en dedans par l'épiderme réduit à deux ou trois assises de cellules épithéliales ; par une couche de tissu conjonctif lâche, dite couche muqueuse, où se différencieront, plus tard, superficiellement le derme et profondément l'aponévrose et les muscles épicroaniens, par une lame fibreuse constituée par du tissu conjonctif modelé dans laquelle vont apparaître des noyaux osseux dont l'évolution ultérieure aboutit à la constitution des os de la voûte.

La région profonde de la lame fibreuse formera la dure-mère. Ces cellules conjonctives de la zone immédiatement sus-jacente prennent le type d'ostéoblastes et édifient entre elles de petites plages d'osséine qui confluent de manière à former une lame osseuse très mince, la lame homogène de préossification. Celle-ci apparaît d'abord dans des endroits correspondant aux futurs points d'ossification. Elle s'étend de proche en proche, précédant ceux-ci dans leur extension.

La durée de la lame homogène de préossification est éphémère. Cette lame est progressivement transformée, à mesure qu'elle s'étend, par l'invasion des vaisseaux sanguins, en une fine dentelle d'osséine.

La lame homogène de préossification a eu pour effet de cliver la couche fibreuse en deux lames : une superficielle et une profonde ; les cellules conjonctives de ces deux lames se transforment en ostéoblastes et il se forme ainsi un véritable périoste externe et un périoste interne qui est la dure-mère.

C'est aux dépens de l'activité édifiatrice de ces ostéoblastes, agissant suivant le mode habituel, que vont se constituer les différents noyaux osseux. A vrai dire, le processus édifiateur est surtout marqué du côté du périoste ; l'activité de la dure-mère, à ce point de vue, est réduite, contingente et localisée.

Aux dépens du périoste donc se constituent des couches superposées de travées osseuses anastomosées entre elles dans un même plan et dans des plans successifs ; il se forme ainsi une dentelle osseuse à plusieurs plans, plutôt que de véritables lamelles comme dans l'ossification périostique ordinaire.

Les travées osseuses augmentent d'épaisseur par adjonction de couches osseuses d'osséine sur leurs deux faces et des travées nouvelles se superposent aux anciennes ; les travées les plus anciennes sont les plus épaisses et les plus voisines de la dure-mère. Le noyau osseux s'étend concentriquement par extension périphérique du processus ossificateur et ainsi se forment les os secondaires de la voûte du crâne, séparés les uns des autres par des régions fibreuses, sutures et fontanelles, où le dépôt osseux continue tant que durera la croissance.

B) FAITS SPÉCIAUX. — Ces processus histologiques, qui sont d'une constatation facile sur les crânes fœtaux, ne laissent aucun doute sur la réalité du processus de croissance appositionnelle. Cependant ce mécanisme ne suffit pas à expliquer complètement l'accroissement de la cavité crânienne et les modifications de courbure que subissent les os de la voûte au cours de la croissance.

a) Idée de Virchow. — R. VIRCHOW (1) eut la notion très nette que des facteurs plus complexes devaient intervenir.

Pour lui, tout crâne est soumis par sa face interne à une érosion lente, tandis qu'à la face externe de nouvelles couches se superposent ; la croissance des bords des os de la voûte, au niveau des sutures, ne suffit pas pour expliquer l'accroissement de la cavité du crâne, bien que ce processus y contribue pour une grande part.

WELKER (2) a admis l'existence du phénomène de la résorption

(1) VIRCHOW (R.), *a)* Das normale Knochenwachsthum und die rachitische Störung desselben. *Arch. f. path. Anat. u. Physiol. und f. Klin. Med.* Bd. 3, s. 303 u. s. w. (X. 1853).

— *b)* Knochenwachsthum und Schädelformen mit besonderer Rücksicht auf Cretinismas. *Ibid.* Bd. 13, S. 347. (X. 1858)

(2) WELKER, *Untersuchungen über das Wachsthum und den Bau des menschlichen Schädels.* Leipzig, 1862. (Cité par KÖLLIKER in *Die Normale Resorption, etc.*, p. 11 et 12).

osseuse au niveau des os de la voûte du crâne, mais il paraît en avoir méconnu le rôle exact et l'importance ; il attribue, en effet, les modifications des courbures de la voûte au cours du développement et de la croissance à un simple redressement passif des os.

b) *Travaux de Kœlliker*. — KÖLLIKER (1) dans une série de travaux remarquables condensés dans un important ouvrage paru en 1874, a eu le mérite d'aborder l'étude systématique du problème de l'érosion osseuse dans ses rapports avec la croissance et la forme définitive des pièces osseuses, en général, y compris celles qui forment la voûte du crâne.

L'œuvre, par ailleurs si considérable de ce grand histologiste, est vraiment fondamentale sur ce point : on ne sait ce qu'il faut y admirer davantage, de la richesse des observations, de la rigueur de l'expérimentation et de la prudente logique de l'interprétation.

Les recherches de KÖLLIKER sur ce point ont porté sur la plupart des os du squelette de plusieurs Mammifères en voie de croissance et elles ont même été étendues à d'autres groupes de Vertébrés. C'est chez les premiers, et de beaucoup, qu'elles ont été les plus complètes. Pour cette cause, et en raison des limites où se borne notre travail, c'est exclusivement les résultats obtenus chez les Mammifères que nous exposerons ici,

KÖLLIKER (2) établissait, tout d'abord, la topographie générale des zones d'érosion par la méthode de l'alimentation garancée, et ensuite il soumettait les régions où cet examen lui avait révélé la réalité d'une résorption osseuse à l'examen microscopique. La topographie et la répartition des ostéoclastes, dont il avait si puissamment contribué à faire connaître la structure et le rôle, lui fournissaient un moyen de contrôle des plus précis. Ces résultats furent complétés par de nombreux examens histo-

(1) KÖLLIKER (A.), *Die Normale Resorption des Knochengewebes und ihre Bedeutung für die Entstehung der typischen Formen*. Leipzig, 1872.

(2) KÖLLIKER (A.), *Die normale Resorption*, etc., S. 28-31.

logiques de pièces provenant de sujets où l'expérimentation par la méthode de la garance n'avait pas été possible.

Ces recherches ont fourni sur le rôle de l'érosion osseuse dans l'accroissement des os en général et dans leur modelage des données qui, à ma connaissance, n'ont pas été contestées depuis.

Pour ce qui regarde plus spécialement l'accroissement de la cavité crânienne (1), ces travaux ont eu le mérite de préciser la conception de VIRCHOW, vraie dans son ensemble, mais exprimée sous une forme incomplète et ne rendant pas compte de la complexité réelle des phénomènes. Il résulte, en effet, des observations de KÖLLIKER que la face externe des os de la voûte du crâne est bien, dans la majeure partie de son étendue, une face d'apposition : mais elle comporte aussi des plages d'érosion, en relation avec des phénomènes locaux de modelage extérieur.

De même, la face endocranienne des os de la voûte est vraiment dans son ensemble le théâtre de phénomènes marqués d'érosion ; mais ce processus varie notablement dans son intensité suivant les régions considérées et aussi dans une même région suivant le stade de l'évolution. Sur un crâne donné à un moment déterminé de son développement, on voit que l'érosion de la face interne se répartit sous forme de plages plus ou moins étendues, alternant avec des surfaces où il se fait de l'apposition interne, ou avec des zones silencieuses dans lesquelles il ne semble se faire au moment considéré, ni érosion, ni apposition.

Accessoirement, KÖLLIKER (2) a montré la part que prennent les phénomènes d'érosion dans l'accroissement des différents canaux et orifices assurant le passage des vaisseaux et des nerfs à travers la paroi crânienne et dans la formation des dépressions qui se creusent en regard des circonvolutions cérébrales.

(1) KÖLLIKER (A.), Die normale Resorption, etc., S. 41-64 u. s. 70.

(2) KÖLLIKER (A.), Die normale Resorption, etc., S. 74-81.

KÖLLIKER (1) a parfaitement vu que la résorption osseuse intervient certainement dans l'accroissement général de la cavité crânienne, mais, de son propre aveu, ses recherches n'ont pas été poussées assez systématiquement pour qu'il ait pu préciser l'importance du phénomène. D'ailleurs, il ne répudie pas entièrement la conception de la croissance interstitielle que des travaux contemporains de ses recherches venaient de mettre à la mode. Pour lui, en effet, les os de la voûte crânienne s'accroissent en surface par deux processus : un processus d'apposition de parties osseuses nouvelles au niveau des bords logés dans le tissu conjonctif des sutures ; un processus de croissance interstitielle. Celui-ci, d'ailleurs, n'aurait que peu d'importance ; il n'est applicable qu'à l'os bien jeune et récemment édifié, peut-être même incomplètement.

Il nous paraît donc histologiquement bien démontré que les os du crâne, aussi bien à la voûte qu'à la base, obéissent aux processus généraux de l'ossification : l'apposition et l'érosion combinées dans l'espace et dans le temps.

III. — Faits personnels concernant l'évolution et le rôle des ostéoblastes et des ostéoclastes.

1° Les ostéoblastes. — Au cours des recherches qui font l'objet de ce travail, notre attention a été attirée sur quelques points spéciaux de l'histoire des agents responsables de ce double phénomène. Nous allons les exposer maintenant. Nous n'insisterons guère sur les ostéoblastes.

La morphologie de ces éléments est actuellement bien fixée. On sait que ce sont des éléments de forme variable, mais généralement polyédriques, isodiamétraux ou un peu allongés, munis de prolongement rameux, anastomotiques, qui les solidarisent entre eux, d'une part et avec les cellules fixes du tissu conjonctif voisin, d'autre part. Ces cellules présentent tous les signes d'une activité sécrétoire intense ; un appareil mitochondrial bien

(1) KÖLLIKER (A.), Die normale Resorption, etc., S. 70:

développé et des enclaves édifiées suivant le mode de rhagiocrine, y ont été décrites [SPULER (1), MEVES (2), G. DUBREUIL (3)].

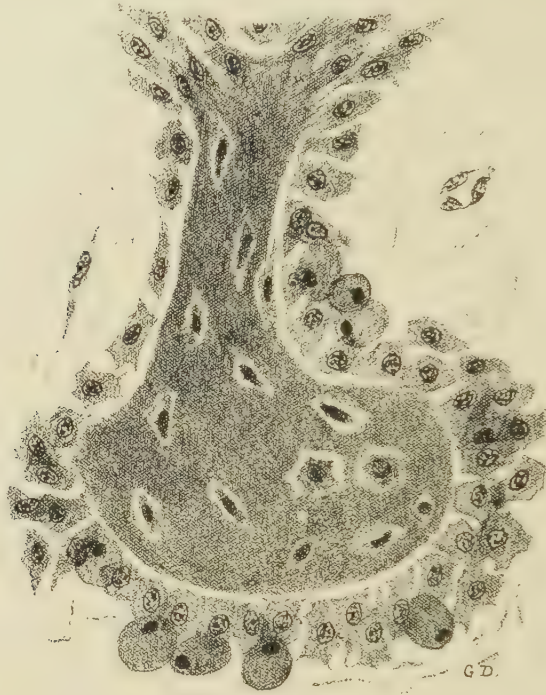


FIG. 3. — *Frontal.* Fœtus de Mouton de 43 centimètres. Formol à 5 pour 100. Hématéine-éosine. Gr. : 370 D. Une travée osseuse tapissée d'ostéoblastes, quelques-uns seulement donnent des signes de dégénérescence. Ils sont sphériques avec un protoplasma homogène des noyaux petits, atrophiques à chromatine très condensée.

L'origine de ces cellules paraît actuellement bien établie : et pour ma part, je me range volontiers à l'opinion soutenue par

(1) SPULER (A.), Beitrag Zur Histogenesis des Mesenchyms. *Verhandl. d. Anat. Gesellsch. 13ste, Versamml.* Tübingen p. 13. 1889. (Cité d'après G. DUBREUIL, Le chondriome et le dispositif de l'activité sécrétoire. (*Loc. citat.*)

(2) MEVES (F.), Ueber Strukturen in dem Zellen des embryonalen Stützgewebes sowie über die Entstehung des Bindegewebesfibrillen, insbesondere derjenigen der Sehne. *Arch. f. mikr. Anat.* Bd. LXXV. p. 149, 1910.

(3) DUBREUIL (G.), Le chondriome et le dispositif de l'activité sécrétoire aux différents stades du développement des éléments cellulaires de la lignée connective, descendants du lymphocyte. *Arch. d'Anat. Microsc.*, t. XV, p. 119 à 130, 1913.

G. DUBREUIL, qui pense qu'elles dérivent du lymphocyte, soit directement, soit en passant par la forme de cellule ronde mobile du tissu conjonctif. En particulier, rien ne me permet d'adopter l'opinion de KÖLLIKER (1), suivant laquelle certains ostéoblastes pourraient provenir de la fragmentation de polycaryocytes ou ostéoclastes. Je montrerai plus loin que ces cellules paraissent avoir une évolution particulière qui les distingue entièrement des ostéoblastes.

On discute encore sur le mécanisme précis de l'action de ces éléments. On admet, généralement, en se fondant sur les dispositifs de leur activité sécrétoire, qu'elles président à l'élaboration de l'osséine ; et de fait, quand on étudie l'édification de l'os,

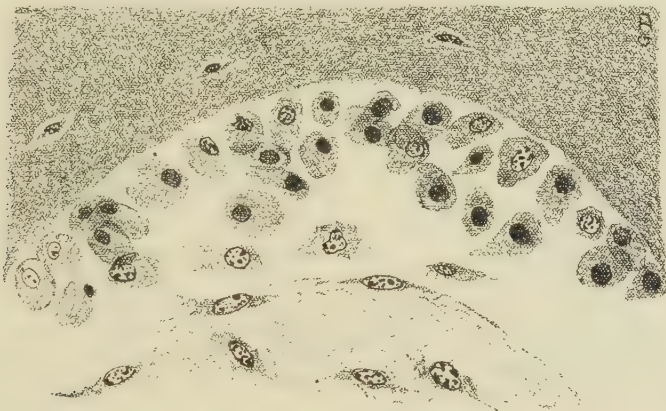


FIG. 6. — Même provenance et même grossissement que la figure 3. Le nombre des ostéoblastes a nettement augmenté.

on voit progressivement apparaître cette substance dans les espaces laissés libres par les mailles du réseau que forment les ostéoblastes et leurs prolongements. Au cours de ce processus, les ostéoblastes et leurs prolongements restent emprisonnés dans la substance intercellulaire qu'ils ont édifiée. Ainsi se constituent les cellules osseuses dont les corps sont logés dans les ostéoplates de l'os achevé et dont les prolongements occupent le réseau des canalicules osseux. Après son englobement, la

(1) KÖLLIKER (A.) *Die normale Resorption, etc.*, p. 27.

cellule osseuse continuerait, pendant quelque temps, à sécréter de l'osséine, rétrécissant ainsi l'ostéoplate et les canalicules osseux.

Au fur et à mesure de son dépôt, l'osséine se charge de sels calcaires et acquiert la dureté et la résistance caractéristiques de



FIG. 5. — Même provenance et même grossissement que la figure 3. Tous les ostéoblastes sont en voie d'atrophie.

la substance osseuse. Les conditions qui président à cette calcification sont encore inconnues.

Cette manière de voir n'est pas universellement acceptée. WALDEYER (1), BIDDER (2), notamment, pensent que tous les ostéoblastes ne sont pas destinés à devenir des cellules osseuses : un certain nombre d'entre eux, affectant habituellement un

(1) WALDEYER, Ueber den Ossificationprozess. *Arch. f. mikr. Anat.*, Bd. 4, S. 363-365, 1865.

(2) BIDDER (A.), Osteobiologie. *Arch. f. mikr. Anat.*, Bd. 68, s. 163, 1906.

aspect fusiforme, perdent leur noyau, tandis que le protoplasma se transforme en une substance fibrillaire qui n'est autre chose que de l'osséine.

En dehors de l'interprétation de figures histologiques, ces auteurs s'appuient sur le fait que les cellules osseuses que l'on trouve dans les travées complètement édifiées sont incontestablement beaucoup plus rares que les ostéoblastes présents à la surface des travées en voie de développement.

Mes observations ne m'ont pas permis de rencontrer des images permettant de conclure à la transformation directe de certains ostéoblastes en osséine.

Par contre, il m'a été donné de constater des dispositions qui permettent peut-être d'expliquer autrement la disproportion entre le nombre des ostéoblastes et celui des cellules osseuses.

Lorsqu'on examine, en effet, des travées osseuses en voie de croissance, on est surpris de voir au niveau de beaucoup d'entre elles des ostéoblastes en voie de dégénérescence.

La cellule perd ses prolongements et prend un aspect très régulièrement sphérique ou ovalaire ; le protoplasma, normalement et légèrement granuleux, devient homogène et très nettement acidophile ; le noyau, habituellement excentré, est en pycnose ; sa taille est considérablement réduite et il se présente sous la forme d'une masse homogène très fortement colorée où tous les détails de structure ont disparu.

Le nombre des ostéoblastes atteints par ce processus est variable suivant les points. Parfois, ils sont très discrètement répartis au milieu de formes parfaitement régulières et normales ; ailleurs, ils sont aussi nombreux que les éléments bien vivants ; d'autres fois enfin, tous les ostéoblastes de la surface d'une travée sont altérés.

Enfin, on peut voir des régions où les ostéoblastes ont complètement disparu, et où la surface de l'os est simplement parsemée de loin en loin par des cellules fixes banales du tissu conjonctif voisin.

Ces aspects nous paraissent correspondre à des étapes successives d'un seul et même processus. J'ajoute que dans les régions

où cette atrophie des ostéoblastes est très marquée, on observe une fragilité particulière des liaisons de la substance collagène du tissu conjonctif avec les travées osseuses.

Une telle dégénérescence des ostéoblastes se rencontre au niveau des surfaces d'érosion et dans des régions où rien n'indique la probabilité d'une résorption. C'est pourquoi, je pense qu'il s'agit là d'un processus absolument normal, comme si les nombreux ostéoblastes qui participent à l'édification d'une travée osseuse se comportaient de façon très différente. Placées à la surface d'une travée osseuse, ces cellules élaborent en front d'elles de l'osséine, présidant ainsi à l'extension de la travée : certaines d'entre elles sont englobées dans l'osséine et se muent en cellules osseuses. Parmi les ostéoblastes qui demeurent, il en est qui continuent à fonctionner activement et à assurer comme précédemment l'accroissement du tissu osseux ; les autres dégènèrent. A mesure que la croissance se ralentit, le nombre de ces dernières cellules augmente, et finalement dans les régions où l'édification d'os nouveau doit cesser temporaire ment ou définitivement, on ne trouve plus au voisinage des travées que des cellules fixes ou tissu conjonctif. Ces zones me paraissent correspondre à ce que KÖLLIKER appelait des zones silencieuses où ne se fait, momentanément, ni érosion osseuse, ni apposition.

2° **Les ostéoclastes.** — *Etude historique et critique. Faits personnels.* — La découverte de ces éléments est attribuée à ROBIN (1). Ils se caractérisent essentiellement par leur volume généralement considérable et par un nombre élevé de noyaux. Des polycaryocytes ont été observés dans des tissus très divers à l'état normal et à l'état pathologique.

On en trouve dans les territoires où des remaniements profonds et rapides doivent avoir lieu (moelle osseuse, foie

(1) ROBIN (Ch.), *a)* Sur deux nouvelles espèces d'éléments anatomiques. *C. R. et Mém. Société de Biologie de Paris*, t. 1, p. 149, 1849.

— *b)* Note sur les éléments anatomiques appelés myélopaxes. *Journal de l'Anatomie et de Physiologie normales et pathologiques de l'Homme et des Animaux*, t. I, p. 88 à 103, 1864.

embryonnaire, placenta). Dans les cicatrices vicieuses on rencontre des débris de poils entourés par des polycaryocytes désignés spécialement sous le nom de Trichophages. La présence de ces éléments au niveau de certaines tumeurs malignes n'a rien d'exceptionnel.

Dans l'os en voie d'édification ou de remaniements, les polycaryocytes sont très nombreux. KÖLLIKER leur attribua dans ce tissu un rôle actif dans la résorption ; il les appela pour cette raison ostéoclastes, nom qui leur est resté depuis.

L'étude cytologique de ces éléments est actuellement assez avancée pour que leur signification de cellules plurinucléées ne soit point douteuse, bien que TODD (1) les ait considéré, il n'y a pas bien longtemps encore, comme des masses de substance préosseuse, séparées par artefact des parties osseuses voisines complètement édifiées.

Ce sont des cellules libres de taille variable, mais généralement volumineuse, pouvant atteindre dans leur diamètre 50, 100 microns et même plus. Leur aspect est des plus variables et échappe à toute description générale : à côté de formes régulièrement globuleuses, on rencontre des types à contour irrégulier avec des prolongements courts, épais, non anastomotiques. Ces éléments sont formés d'une masse de protoplasma commun, finement granuleux et très nettement éosinophile dans lequel prennent place des noyaux de forme régulièrement sphéroïdale de 4 à 8 microns de diamètre. Ces noyaux possèdent une membrane nucléaire nette, avec un suc nucléaire abondant, faiblement basophile ; la chromatine se répartit sous forme de croûtelles fines et assez rares ; habituellement on observe la présence de deux ou trois nucléoles nucléiniens.

Dans le protoplasma de ces cellules, il existe un appareil mitochondrial extrêmement développé, représenté par de très nombreuses mitochondries granuleuses et quelques chondriocentes flexueux.

(1) TODD (T. W.), A preliminary Communication on the development and growth of bones the relations therets of several histological elements concerned. *Journ. of Anat. and Physiol.*, Bd. 47, p. 177-188, 1913.

KÖLLIKER (1) s'est basé surtout, pour attribuer à ces éléments un rôle actif dans la résorption de l'os, sur des dispositifs morphologiques et topographiques.

L'étude des processus histologiques de l'ossification montre, en effet, comme nous l'avons rappelé plus haut, que l'on rencontre des ostéoclastes dans les régions où le cartilage disparaît et dans celles où des parties osseuses déjà édifiées doivent être résorbées partiellement ou en totalité, temporairement ou définitivement, pour que les pièces osseuses acquièrent leur volume, leurs formes et leur structure typiques.

Parfois, les ostéoclastes sont appliqués à la surface de ces travées saillantes en se modelant sur elles ; d'autres fois ils sont contenus dans des sortes de niches creusées dans l'épaisseur de ces travées qui montrent un aspect festonné tout à fait caractéristique. Tout se passe comme si, arrivés au contact des travées, ces éléments provoquaient une zone localisée de fonte de la substance osseuse déterminant une dépression irrégulière dans lesquelles ils s'enfoncent et qui s'approfondit peu à peu. Par ce processus des travées sont effondrées, et on voit fréquemment des blocs osseux libérés par ce processus entourés par de nombreux ostéoclastes qui en achèvent la liquidation. Lorsque les coupes sont heureuses et que la fixation a été précise, on peut se rendre compte que la région de contact de l'ostéoclaste avec la substance osseuse présente une bordure striée dont la signification est encore inconnue, mais qui est peut-être la trace des actes physico-chimiques par lesquels la cellule assure la fonte de l'os.

Ces aspects morphologiques sont des plus suggestifs, mais ils ne constituent pas, à vrai dire, une démonstration cruciale du rôle des ostéoclastes, car nous ignorons complètement leur mode d'action précis.

JORDAN (2) a émis récemment l'hypothèse que ces cellules provoquent d'abord la décalcification de l'os, puis son morcellement

(1) KÖLLIKER (A.), Die normale Resorption, etc., *loc. cit.*, S. 21-28.

(2) JORDAN (H. E.), Further evidence concerning the function of osteoclasts. *Anatomic Record*, Bd. 20, p. 281-292, 1920-1921.

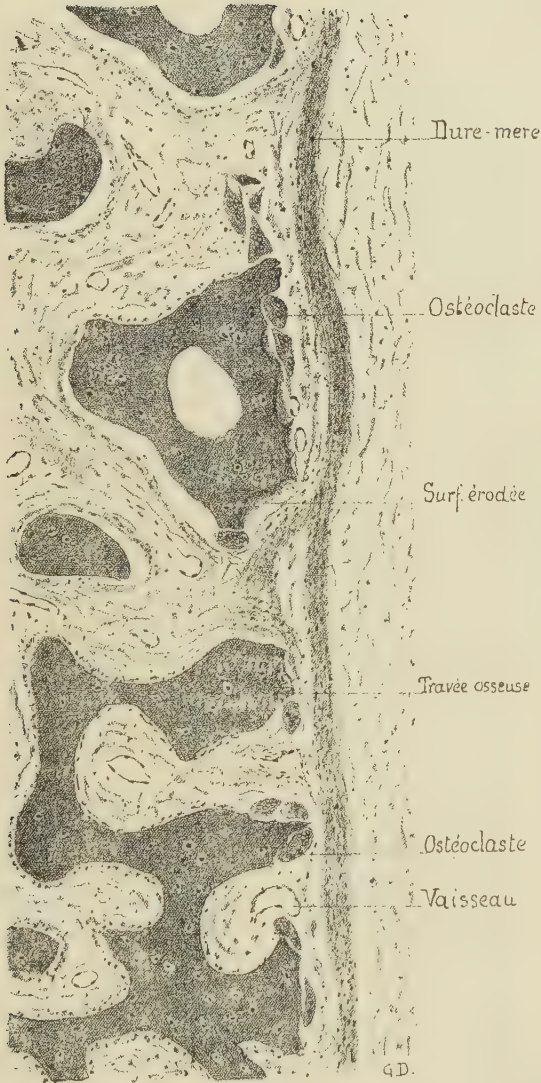


FIG. 6. — Fœtus de Mouton de 20 centimètres. Formol à 5 pour 100. Hématéine-éosine. Gr. : 100 D. Erosion par les ostéoclastes à la face interne de l'os frontal.

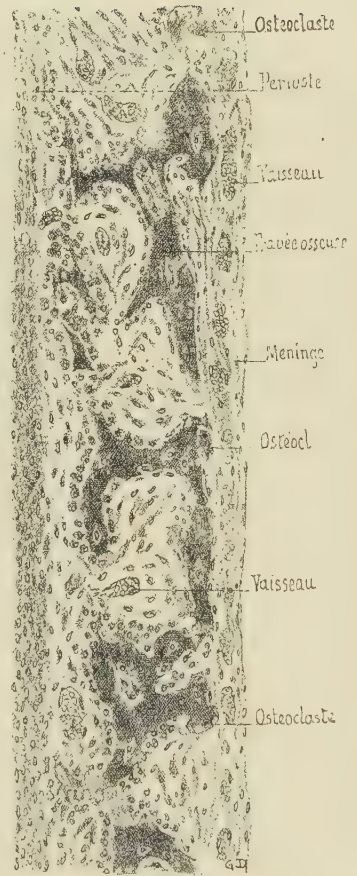


FIG. 7. — Fœtus de Mouton de 6 centimètres. 2 Zenker. Hématéine-éosine. Gr. : 160 D. Erosion de l'os pariétal, à sa face interne, par les ostéoclastes. L'intensité de la résorption est bien moindre que dans l'objet précédent.

en particules plus ou moins volumineuses qu'elles font disparaître finalement par phagocytose. Cet auteur ne démontre pas d'une façon objective qu'il y a décalcification ; en outre, je n'ai jamais rencontré dans les très nombreux ostéoclastes que j'ai observés des images comparables à celles qui résultent de la description de JORDAN ou correspondant aux figures qu'il donne dans son travail. Sans nier la réalité de ces faits, je pense, pour le moment, qu'ils doivent être tout à fait exceptionnels.

D'ailleurs, au moins dans les objets qui ont servi à cette étude, il m'a semblé que le pouvoir phagocytaire des ostéoclastes est assez faible. Contrairement aux observations de JORDAN, les seules inclusions que j'ai observées une seule fois dans les ostéoclastes étaient représentées par des grains de pigment d'origine hématique.

Non seulement nous ignorons le mode d'action des ostéoclastes, mais leur nature, leur origine et leur destinée sont encore discutées.

Je puis apporter quelques faits personnels susceptibles de contribuer à élucider certains points de ces problèmes.

Remarquons que pour bien suivre l'origine et l'évolution des ostéoclastes, il est indispensable de s'adresser à des objets d'étude favorables. L'abondance et le degré de développement de ces cellules varient notablement avec les zones d'érosion observées. Dans les endroits où il se fait une résorption intense et rapide, on trouve des ostéoclastes très nombreux et de grande taille. Là où les phénomènes revêtent une allure plus lente, ces cellules sont plus rares et les types très volumineux sont exceptionnels. En étudiant la paroi alvéolaire de la dent de lait, AERY (1) d'une part, JORDAN d'autre part ont eu sous les yeux un objet des plus convenables.

L'étude des phénomènes histologiques de l'ossification des os de la voûte du crâne chez le Mouton nous a permis de constater que les parois des sinus de la face, et en particulier celle

(1) AERY (L. B.), The origin, growth and fate of osteoclasts and their relation to bone resorption. *Amer. Journ. of Anat.*, t. 26, p. 315-337, 1919-1920.

du sinus frontal, sont des régions où l'érosion est des plus actives ; de ce fait, elles se prêtent admirablement à l'étude des ostéoclastes. On sait que ces cavités apparaissent tardivement et que, d'autre part, elles se creusent très rapidement. Le sinus

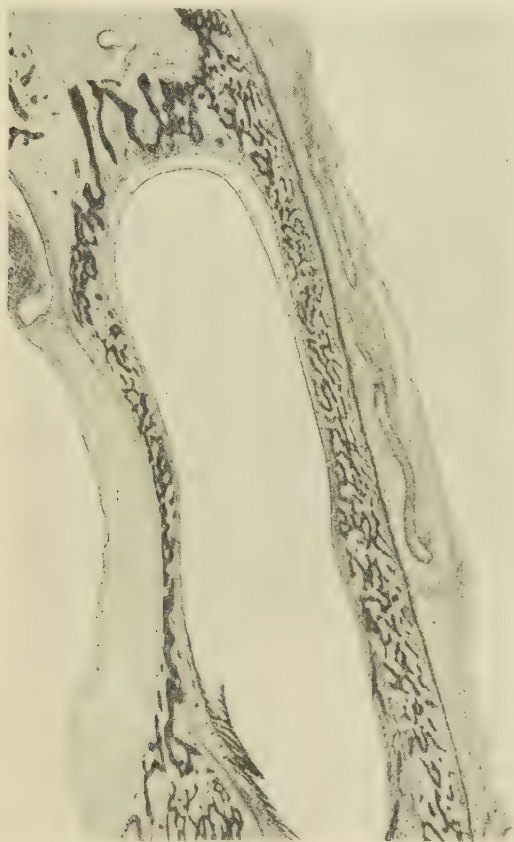


FIG. 8. — Fœtus de Mouton de 43 centimètres. Formol à 5 pour 100. Hématéine-éosine. Gr. : 7 D. La coupe a intéressé sagittalement le sinus frontal suivant un plan passant par la poulie de réflexion du muscle grand oblique de l'œil que l'on aperçoit dans la partie supérieure et gauche de la figure. En haut, le fond du sinus ; en bas, son ouverture dans la cavité des fosses nasales ; à droite, sa paroi antérieure ; à gauche, sa paroi postérieure.

frontal, en particulier, n'existe pas chez le fœtus de Mouton de 35 centimètres. Aux stades de 42 et de 43 centimètres, on est en présence d'une cavité déjà considérable.

Par contre, dans beaucoup d'endroits de la face interne des os de la voûte crânienne, l'érosion osseuse apparaît précocement et se poursuit d'une façon lente et continue pendant tout le cours du développement et de la croissance : ces zones présentent des ostéoclastes, mais ces cellules y sont moins nombreuses, leur évolution est d'une observation plus difficile.

L'étude des ostéoclastes, au niveau des parois du sinus frontal du fœtus de Mouton de 43 centimètres, nous a permis de préciser quelques points de leur histoire.

L'opinion ancienne de KACZANDER (1), adoptée récemment par GEDDES (2), suivant laquelle les ostéoclastes représentent des cellules cartilagineuses hypertrophiées, libérées de leur capsule et fusionnées, ne repose sur aucune preuve décisive et elle ne tient pas compte du fait que des ostéoclastes se développent en grande abondance dans des endroits où il n'a jamais existé du tissu cartilagineux.

WEGNER (3), frappé des relations que les ostéoclastes offrent avec les vaisseaux, avait admis que ces éléments proviennent des cellules du tissu conjonctif périvasculaire ou même des cellules de la paroi des vaisseaux. Cette opinion a été adoptée à peu près sans modifications essentielles par KÖLLIKER (4). MORRISON (5), BRODOWSKI (6), SCHÄFFER (7), BIDDER (8) et d'autres. BREDICHIN (9) semble avoir considéré les ostéoclastes comme des

(1) KACZANDER (J.), Über den Ossificationsprozess. *Arch. f. pat. Anat. u. Physiol. u. f. Klin. Med.*, Bd. 87, S. 189-193, 1882.

(2) GEDDES (A. C.), The origin of the osteoblast and of the osteoclast. *Journ. of Anat. and Physiol.*, Bd. 47, p. 157-176, 1913.

(3) WEGNER (G.), Myeloplaxen und Knochenresorption. *Arch. f. path. Anat. u. Physiol. und f. Klin. Med.*, Bd. 56, p. 531, 1872.

(4) KÖLLIKER (A.), Die normale Resorption etc., S. 23-26-27, 1874.

(5) MORRISON (A.), Bone resorption by means of giant cells. *Edinb. Med. Journ.*, t. 19, p. 303-311, cité par AERY, Origin and fate of osteoclast, p. 317-318.

(6) BRODOWSKI (W.), Über den Ursprung sogenannter Riesenzellen und über Tuberkeln in Allgemein. *Arch. f. pat. Anat. u. Physiol. und. f. Klin. Med.*, Bd. 63, S. 116-120, 1875.

(7) SCHÄFFER (I.), Die Verknöcherung des Unterfiekers und die Metaplasiefrage. *Arch. f. Mikr. Anat.*, Bd. 32, S. 329-331, 1888.

(8) BIDDER (A.), Osteobiologie, S. 163, 1906.

(9) BREDICHIN (S.), Über die Bedeutung die Riesenzellen in den Knochen. *Centralbl. f. d. Med. Wissensch.*, Jahrg. 5, S. 363-364, 1875.

plasmodes résultant de la fusion des cellules osseuses des travées en voie de résorption.

JACKSON (1), MAXIMOW (2), M^{lle} DANTSCHAKOFF (3) font dériver les ostéoclastes des cellules fixes du tissu conjonctif embryonnaire de la moelle osseuse. Ces cellules se fondraient entre elles de manière à former des masses de plus en plus volumineuses qui se libèrent de leurs connexions avec les éléments du réseau général et acquièrent les dispositions et les formes caractéristiques.

G. DUBREUIL (4) pense, que les ostéoclastes naissent dans le tissu conjonctif ou dans le tissu médullaire par l'évolution du lymphocyte, en passant par le stade intermédiaire de la cellule ronde mobile du tissu conjonctif. Tous ces auteurs admettent d'ailleurs que ces éléments sont parfaitement actifs et ils les considèrent comme des agents de la résorption osseuse.

Dans ces dernières années, particulièrement en Amérique, une toute autre conception a vu le jour. D'après AERY (5), il y a deux générations d'ostéoclastes : l'une est fournie par des cellules du reticulum de la moelle osseuse qui se libèrent de leur connexion dont le protoplasma devient le basophile et qui acquièrent plusieurs noyaux; l'autre génération d'ostéoclastes, postérieure à la précédente dans son apparition et infiniment plus importante, a une toute autre origine. Ces éléments semblent résulter de la fusion en masses plasmodiales plurinucléées des ostéoblastes, et même des cellules osseuses en voie d'atrophie au niveau des

(1) JACKSON (C. M.), Zur Histologie und Histogenese des Knochenmarks. *Arch. f. Anat. u. Entwickl.*, S. 47-50, 1904.

(2) DANTSCHAKOFF (W.), Über die Entwicklung des Knochenmarks beigen den Völgern, und über dessen Veränderungen. *Arch. f. Mikr. Anat.*, Bd. 74, S. 873 u. S. 916, 1909.

(3) MAXIMOW (A.), Untersuchungen über Blut und Bindegewebe. III Die Embryonale Histogenese des Knochenmarks der Säugetiere. *Arch. f. Mikr. Anat.*, Bd. 76, S. 19, 1910.

(4) DUBREUIL (G.), Le chondriome et le dispositif de l'activité sécrétoire etc., *loc. cit.*, p. 68-69, 72-73, 131 à 133.

(5) AERY (L. B.), The origin, growth and fate osteoclasts and their relation to bone resorption., *loc. cit.*, p. 322-328.

zones d'érosion. POLICARD (1) paraît admettre l'origine ostéoblastique des ostéoclastes.

Les ostéoclastes constitueraient une étape de la dégénération de ces cellules condamnées à disparaître. Les ostéoclastes, d'ailleurs, n'ont qu'une durée transitoire et leur liquidation définitive s'effectue par les processus ordinaires de l'autolyse avec vacuolisation du protoplasma et transformation pycnotique du noyau.

AERY a été aussi naturellement conduit à admettre que les ostéoclastes sont seulement les témoins et non point les agents actifs de la résorption osseuse.

La résorption résulterait, non d'une action cellulaire, mais de causes humorales, telles que l'augmentation de la teneur en CO_2 , suivant l'hypothèse anciennement émise par FLESCH (2).

Les idées d'AERY concordent avec l'opinion de LEWIS (3).

Antérieurement, HOWEL (4) avait donné une interprétation analogue en pensant que les ostéoclastes sont des cellules sans fonction spécifique et qu'elles résultent de la fusion accidentelle, et en quelque sorte pathologique, de formes très diverses : lymphocytes, cellules osseuses, ostéoblastes ; la cause de cette fusion résidant dans une exaltation de l'activité multiplicatrice de ces diverses cellules par les parties osseuses en voie de résorption.

L'étude des phénomènes d'érosion dans l'objet d'étude que nous avons choisi permet de constater avec la plus grande netteté l'origine conjonctive des ostéoclastes.

Les figures 8 et 9 montrent la constitution de la paroi du sinus frontal sur un fœtus de Mouton de 45 centimètres. Cette paroi comprend un épithélium doublé par une fibro-muqueuse dans laquelle se développe, à une certaine distance de l'épithé-

(1) POLICARD (A.), *Précis d'histologie physiologique*, p. 250, 1922.

(2) FLESCH (M.), Zur Physiology der Knochenresorption. *Centralbl. f. Med. Wissensch.*, Bd. 30, 1876. Cité par MAAS, in Ueber Wachst. und die Regeneration..., p. 728.

(3) LEWIS (F. T.), *A text book of Histology*. Philadelphia, 1913. Cité par AERY, Origin growth. and fate..., *loc. cit.*, p. 332.

(4) HOWEL (W. H.), Observation upon the occurrence, structure and function of the giant cells of the marrow. *Journ. of Morphology*, t. 44, p. 117-130 1890.

lium, la paroi osseuse de la cavité. Celle-ci est le siège d'une érosion extraordinairement accusée au niveau des faces latérales, et encore plus marquée au niveau du fond. Dans cette région, les travées osseuses sont tapissées d'ostéoblastes en voie de dégénérescence, affectant la forme de masses protoplasmiques sphériques, indépendantes les unes des autres, fortement colorées

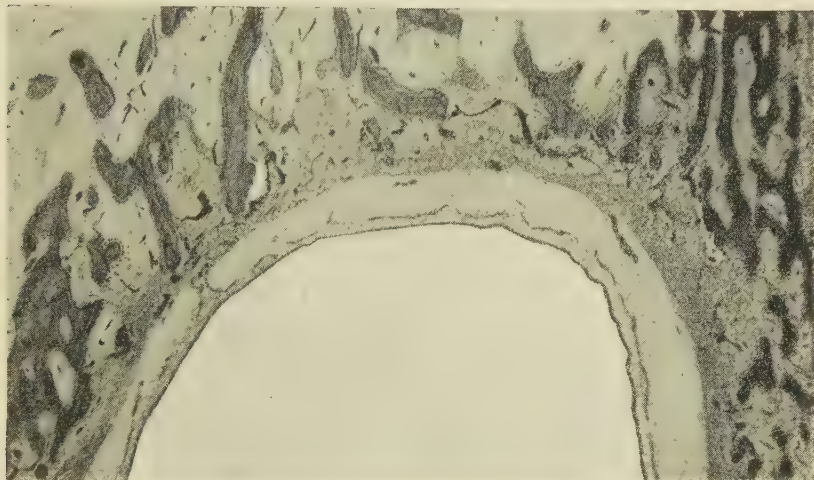


FIG. 9. — Même provenance que la figure 8. Gr. : 26 D.

La région au fond du sinus. On voit la constitution générale de la paroi sinu-sienne. Au-dessous de l'épithélium bordant directement la cavité, une couche assez épaisse de tissu conjonctif délicat, puis une couche de tissu conjonctif plus dense, avec les travées osseuses. Quelques ostéoclastes très volumineux sont visibles à ce grossissement sous forme de taches irrégulières, sombres, au voisinage des extrémités libres des travées. Comparer avec la figure 10.

par l'éosine avec un noyau pycnotique. Au niveau de la surface sinusienne des travées ces cellules ont même disparu ; à leur place, on voit de très nombreux et de très volumineux ostéoclastes tapissant les saillies osseuses ou profondément enfoncés dans des niches d'érosion.

Dans les couches plus profondes du tissu conjonctif, les grands ostéoclastes sont infiniment plus rares ; par contre, on y voit de nombreuses formes plus petites : les unes sphériques, les autres polymorphes et irrégulières, constituées par une masse réduite de protoplasma, nettement éosinophile, avec un faible nombre de noyaux : deux, trois, quatre, cinq, parfois une dizaine.

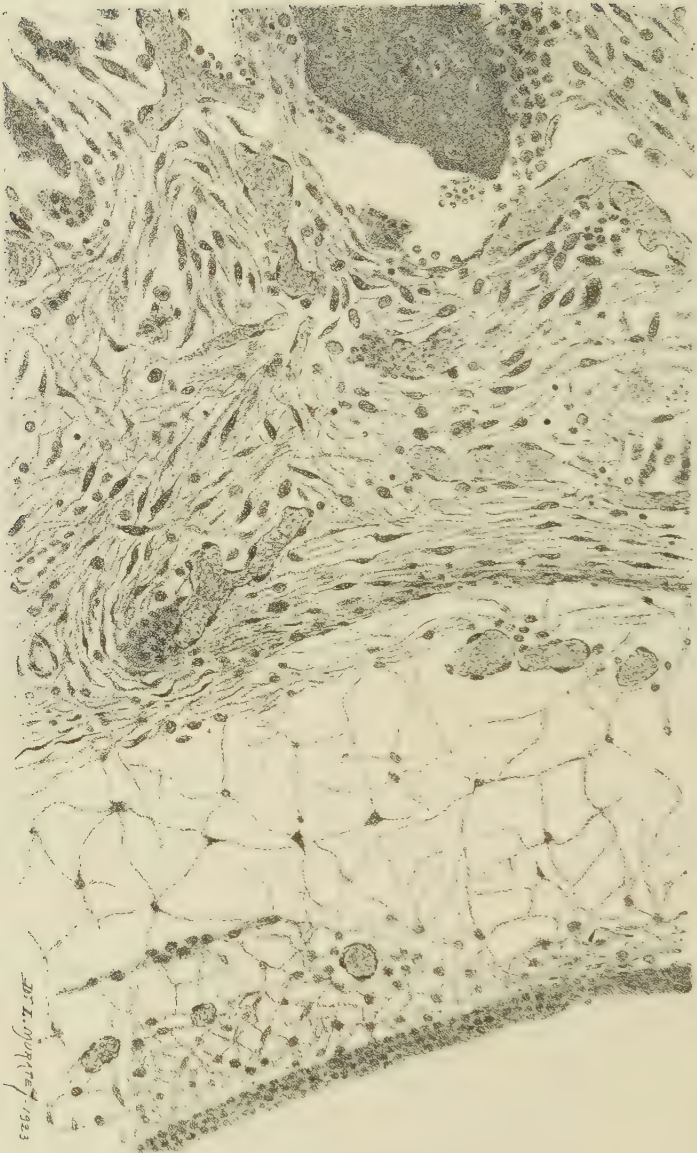


FIG. 40. — Même provenance que la figure 8. Gr. 385 D.

Cette figure montre, dessinée à un plus fort grossissement, un fragment de la paroi du sinus dans la région du fond. Noter la constitution générale de cette paroi et remarquer la présence d'ostéoclastes volumineux et pourvus de nombreux noyaux, surtout au contact des travées osseuses; dans le tissu fibreux sous-jacent à ces travées et à une certaine distance d'elles, au voisinage des vaisseaux, il existe des cellules de taille plus petite avec un faible nombre de noyaux; ce sont des ostéoclastes jeunes groupés en nids de prolifération.

Parmi ces cellules, on observe, avec une fréquence plus grande qu'ailleurs, des cellules rondes du tissu conjonctif, reconnaissables à leur protoplasma franchement éosinophile, à leur noyau sphérique gonflé et volumineux. Les ostéoclastes de petite taille ne se rencontrent pas uniformément dans toutes les parties de la préparation; on les voit habituellement concentrés dans des régions fortement vascularisées, où ils forment de petits amas que nous interprétons comme des centres de prolifération et de

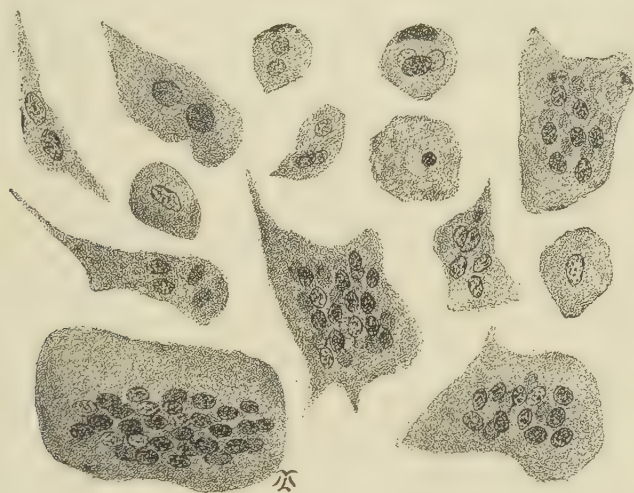


FIG. 11. — Même provenance que la figure 8. Gr. : 980 D.

Formes d'ostéoclastes à divers stades de leur évolution. Les cellules jeunes se caractérisent par leur taille relativement petite et le faible nombre des noyaux. Parmi les éléments représentés dans cette figure, on en remarquera un, uninucléé à protoplasma vacuolaire et à noyau atrophique. C'est une forme en voie de dégénérescence.

différenciation. Car il n'est pas douteux pour nous que ces formes sont de jeunes ostéoclastes, en voie de croissance, provenant d'une évolution particulière de cellules rondes mobiles du tissu conjonctif.

L'existence de ces centres de germination a pour conséquence première d'augmenter le nombre des ostéoclastes déjà existants et de remplacer ceux qui ont achevé leur carrière. Il n'est pas contestable, en effet, d'après nos observations, qu'il y a des ostéoclastes en voie de dégénérescence répondant, selon toute

vraisemblance, à des formes vieilles. De telles cellules s'observent avec une assez grande fréquence au niveau de la zone d'érosion de la paroi sinusienne, mêlées à des ostéoclastes présentant tous les signes d'une parfaite activité. Ces cellules sont immédiatement reconnaissables à l'aspect de leur protoplasma très fortement vacuolaire, faiblement colorable, et à contours irréguliers, parfois effilochés. Les noyaux y sont plus clairs et semblent subir une fonte lente; quelques-uns d'entre eux, plus rares, ont des aspects franchement pycnotiques.

Nous pensons donc que les ostéoclastes se forment dans les couches profondes du tissu conjonctif, comme nous l'avons indiqué plus haut; progressivement, ils évoluent et en même temps se portent vers les travées osseuses qui doivent disparaître. Ils atteignent ordinairement le théâtre où s'exercera leur activité, sous la forme de cellules déjà volumineuses, pourvues de nombreux noyaux. Au bout d'un certain temps, ces ostéoclastes dégénèrent et sont remplacés, lorsque le processus doit continuer, par des formes plus jeunes, nées dans les centres de prolifération. La durée de la période d'activité des ostéoclastes paraît assez longue et le mouvement que nous venons d'indiquer semble s'effectuer avec une vitesse modérée, car les formes dégénérées sont beaucoup plus rares que les formes normales; et, d'autre part, les nids de prolifération sont loin de posséder une activité comparable à celle que l'on peut observer dans les centres germinatifs des autres organes.

L'essaimage des ostéoclastes à partir des nids de prolifération vers les travées osseuses implique la mobilité de ces cellules. A vrai dire, cette propriété n'est pas démontrée; les recherches déjà anciennes de KÖLLIKER sont restées infructueuses sur ce point; peut-être conviendrait-il de les reprendre avec une technique meilleure. Pour le moment, nous pensons que le polymorphisme de ces éléments, l'absence de prolongements anastomotiques les liant au réseau des cellules fixes connectives permettent de conclure à leur mobilité.

La façon dont se fait au sein des ostéoclastes la multiplication des noyaux n'est pas déterminée d'une façon précise. BREDI-

FIG. 12

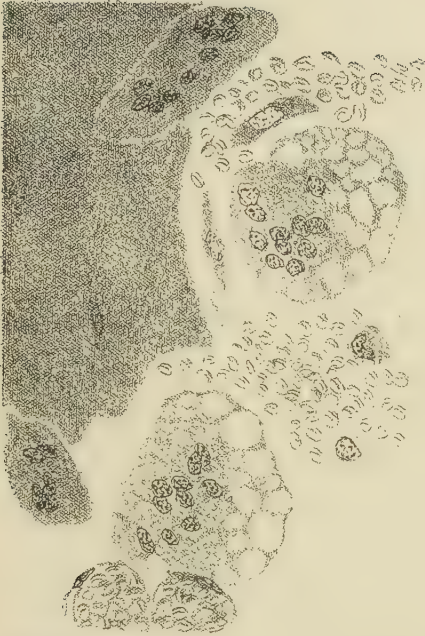


FIG. 14

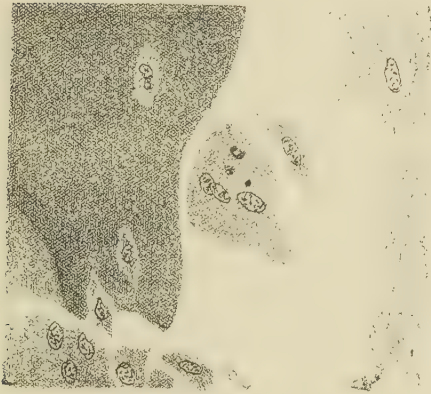


FIG. 13

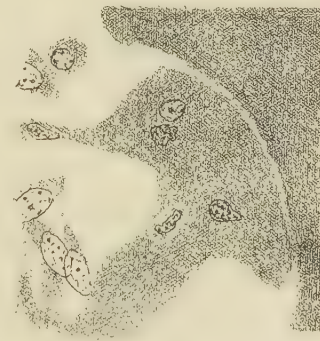


FIG. 15

FIG. 12, 13, 14, 15. — Même provenance que la figure 8. Gr. : 900 D.

A côté d'ostéoclastes normaux reconnaissables à leur protoplasma finement granuleux, remarquer (*fig. 12, 13 et 14*) des formes en voie de dégénérescence caractérisées par leur colorabilité très faible, l'imprécision des contours, l'aspect vacuolaire du protoplasma. Dans la figure 13 on voit des phénomènes de pyknose nucléaire au sein d'un ostéoclaste. Dans la figure 14 et dans la figure 15 remarquer, au niveau de deux ostéoclastes parfaitement normaux, l'existence d'un noyau entouré d'une petite atmosphère de protoplasma, et isolé du reste de l'élément par une petite vacuole. Ces images semblent correspondre à un phénomène de caryo-anabiose.

CHIN (1), WEGNER (2), KÖLLIKER (3), MORRISON (4) ont soutenu que cette multiplication se fait par amitose ; JACKSON (5), JORDAN (6) croient, au contraire, que le procédé de la division indirecte est employé. Mes propres observations concordent sur ce point avec celles de MAXIMOW (7) ; je n'ai jamais observé au niveau des noyaux de ces cellules de figures de mitose ou d'amitose.

M^{lle} DANTSCHAKOFF, MAXIMOW, admettant que les ostéoclastes résultent de la fusion des cellules fixes du tissu conjonctif embryonnaire, expliquent par ce processus la multiplicité des noyaux de ces cellules.

HOWELL (8), AERY (9), tout en reconnaissant une autre source aux ostéoclastes, adoptent pour leur mode de formation le procédé de la fusion avec les conséquences qu'il entraîne dans l'augmentation du nombre des noyaux.

Nous inclinons, au contraire, à faire dériver ces éléments des cellules rondes mobiles du tissu conjonctif. L'absence de figures de mitose ou d'amitose est en faveur de l'hypothèse d'une fusion de ces cellules originelles ; mais jusqu'à présent il m'a été impossible d'observer des images démontrant la réalité de cette fusion contre laquelle semble plaider aussi la régularité des formes et la petitesse du volume des ostéoclastes pourvus de deux ou trois noyaux seulement. Cependant, je dois signaler la présence

(1) BREDICHIN (J.), Ueber die Bedeutung die Riesenzellen, etc..., *loc. cit.*, S. 563-564.

(2) WEGNER (G.), Ueber Myeloplaxen und Knochenresorption, S. 331-533, 1872.

(3) KÖLLIKER (A.), Die normale Resorption etc..., *loc. cit.*, S. 25-26-27,

(4) MORRISON (A.), Bone absorption by means of giant cells. *Edinburgh Med. Journ.*, p. 303-314, 1873. Cité par AERY, in Origin growth and fate of osteoclasts, *loc. cit.*, p. 318.

(5) JACKSON (C. M.), Zur Histologie und Histogenese etc., *loc. cit.*, p. 47-50.

(6) JORDAN (H. E.), A contribution to the problems concerning the origin, structure, genetic relationship and function of the giant cells of hemopoietic and osteolytic fca. *Americ. Journ. of Anat.*, 23, p. 253, 1918.

(7) MAXIMOW (A.), Untersuchungen über Blut und Bindegewebe, *loc. cit.*, S. 21.

(8) HOWELL (W. H.), Observation upon occurence structure and function of the giant cells of Marrow. *Journ. of Morphology*, t. 4, p. 117-130, 1890.

(9) AERY (L. B.), The origin growth and fate of osteoclasts, etc., *loc. cit.*, p. 231-328.

assez fréquente, dans les grands ostéoclastes, de noyaux envacuolés, se distinguant des noyaux propres de l'élément par une densité et une colorabilité plus accusées. Ces images me portent à me demander si, à certaines périodes de leur existence au moins, les ostéoclastes ne multiplient pas leurs noyaux, grâce à des phénomènes de caryoanabiose, bien connus depuis les recherches expérimentales de GUIEYSSE-PÉLISSIER (1) (*fig. 15*).

Tout en rejetant les idées d'AERY sur l'existence de deux générations successives d'ostéoclastes de provenance différente, nous sommes conduit à admettre, par les faits observés au niveau de la paroi sinusienne du fœtus du Mouton, que le mode de multiplication des noyaux des ostéoclastes relève probablement de processus différents suivant le degré d'évolution de ces cellules.

Des recherches spéciales nous fixeront sans doute plus tard ; pour le moment, la conclusion utile qui se dégage est la suivante : les ostéoclastes ne sont nullement des formes dégénérées ; rien dans leurs caractères histologiques, leur évolution et leur répartition topographique ne permet de mettre en doute leur vitalité et leur activité.

3° La résorption osseuse sans intervention des ostéoclastes. — *Exposé et critique de faits.* — Pour nier ou pour restreindre le rôle des ostéoclastes dans la résorption osseuse on s'est appuyé, d'autre part, sur les faits suivants :

On peut observer, à l'état normal comme à l'état pathologique, des surfaces osseuses en voie d'érosion manifeste où manquent les ostéoclastes [RUSTIZKY (2), ZIEGLER (3), BUSCH (4), KAUFFMANN (5)].

(1) GUIEYSSE-PÉLISSIER (A.), *a*) Etude des cellules géantes expérimentales. La caryoanabiose. *C. R. Assoc. des Anat.*, 10^e Réunion, Marseille, p. 44-54, 1908 ; — *b*) Caryoanabiose et greffe nucléaire. *Arch. d'Anat. microscop.*, p. 1-54, v. 13, 1911.

(2) RUSTIZKY (V. J.), Untersuchungen über Knochenresorption und Riesen-zellen. *Arch. f. path. Anat. u. Physiol. und Klin. Med.*, Bd 59, S. 204. u. S. 210-214, 1874.

(3) ZIEGLER (E.), Ueber Proliferation, Metaplasie und Resorption des Knochengewebes. *Arch. f. Path. Anat. u. Physiol. und f. Klin. Med.*, Bd 73, S. 363-368, 1878.

(4) BUSCH (F.), Die Knochenbildung und Resorption beim wachsenden und entzündeten Knochen. *Arch. f. Klin. Chir.*, Bd 21, S. 150-181, 1877.

(5) KAUFFMANN (E.), *Lehrbuch der speziellen pathologischen Anatomie*, Berlin 1907. Cité d'après AERY, in *Origin growth and fate.... etc.* p. 331.

Dans l'étude de la résorption des greffes osseuses, la présence des ostéoclastes est contingente [POLICARD] (1). AERY (2) émet sur les lacunes de HOWSHIP ou les niches d'érosion l'hypothèse que ces cavités seraient des régions osseuses plus molles ou soumises plus directement à l'action d'agents décalcificateurs humoraux et joueraient, en partie, le rôle attribué aux ostéoclastes.

L'étude de coupes sériées de nombreuses surfaces d'érosion observées à divers stades dans des régions très différentes de la voûte crânienne me permet de penser que cet argument est plus solide en apparence qu'en réalité.

Il est remarquable, en effet, qu'il existe au niveau des surfaces de résorption, un état particulier rendant infiniment plus fragiles que partout ailleurs les liaisons entre le tissu osseux et le tissu conjonctif environnant. Quelles que soient les précautions que l'on prenne, il n'est pas rare d'observer des déhiscences provoquées, libérant, plus ou moins largement, le tissu conjonctif de l'os auquel il adhérerait parfaitement.

De semblables accidents, de l'aveu de techniciens entraînés qui ont longuement étudié l'os, s'observent entre les mains les plus habiles et tiennent certainement à la nature même des objets d'étude. Quoi qu'il en soit, il arrive dans ces conditions que des ostéoclastes sont entraînés hors de la place qu'ils occupaient véritablement ; il est possible, parfois, de les retrouver dans le tissu conjonctif déplacé et on peut, par la pensée, les replacer dans leur situation réelle, au contact même de l'os en résorption : mais cette reconstitution n'est pas toujours possible, en raison même de la gravité des désordres provoqués : c'est pourquoi nous pensons que, dans un certain nombre de cas, la déshabitation des niches d'érosion observée sur une seule coupe n'est

(1) POLICARD (A.) et LERICHE (R.), Mécanisme et rôle pathogénique de la raréfaction précoce dans la genèse des pseudarthroses. *C. R. des séances de l'Acad. des sciences*, vol. 167, p. 403, 9 septembre 1918.

POLICARD (A.), *Exposé des titres et travaux scientifiques*, p. 70, 1919.

POLICARD (A.), *Précis d'Histologie physiologique*, p. 250, 1922.

(2) AERY (L.B.), The origin growth and fate of osteoclasts etc. (*loc. citat.*), p. 331, 1920.

qu'apparente et résulte d'un artefact assez grossier et assez facile à interpréter.

Mais il est aussi des cas fréquents où l'on constate la présence de niches d'érosion authentiquement déshabitées, sans que l'on puisse invoquer le mécanisme précédent. Ces aspects ne prouvent point, à notre avis, la réalité d'une ostéolyse sans l'intervention des ostéoclastes. Nous pensons qu'il s'agit là de zones où l'érosion est en voie de décroissance ou de disparition momentanée, dans lesquelles les ostéoclastes ont existé antérieurement, mais d'où ils ont disparu pour une période plus ou moins longue pendant laquelle va se faire l'apposition osseuse.

Voici les raisons de cette interprétation :

Tout d'abord elle est parfaitement conforme avec la marche générale des phénomènes d'érosion.

Une région osseuse peut, à un moment donné, être le siège d'une résorption intense, et, un peu plus tard, montrer des signes d'une activité édifiatrice marquée ; de plus, dans une même région, l'érosion n'apparaît pas dans tous les points en même temps et ne s'épuise pas partout simultanément.

Grâce à la différence de colorabilité de l'os ancien et de l'os nouveau, on voit clairement la nouvelle substance osseuse déposée à la surface d'une zone d'os ancien crénelée où vraisemblablement ont existé antérieurement des ostéoclastes.

D'autres aspects montrent la réapparition d'ostéoblastes à la surface d'une de ces zones festonnées ; on peut surprendre cette réapparition à son début, au moment où le dépôt d'osséine nouvelle n'a pas encore commencé ; et même en certains points, lorsque les éléments édifiateurs n'ont pas encore atteint la surface qu'ils doivent tapisser.

Il n'est pas exceptionnel de rencontrer des surfaces festonnées assez vastes, apparemment dépourvues d'ostéoclastes à première vue, et où on voit encore quelques-unes des niches d'érosion occupées par des ostéoclastes attardés qui persistent là comme les témoins d'un processus de résorption qui s'est effectué suivant le procédé classiquement admis.

Enfin, en examinant sur des coupes en série ces surfaces

d'érosion, partiellement ou totalement déshabitées, nous avons constaté dans les os de la voûte du crâne, spécialement étudiés dans ce travail, que ces plages plus ou moins étendues se raccordent toujours à des zones d'érosion active, richement pourvues d'ostéoclastes typiques.

Une objection plus grave, si elle s'appuyait sur des faits dûment vérifiés, repose sur l'existence, dans l'os en voie d'accroissement et de remaniement, de surfaces lisses et dépouillées d'ostéoblastes pouvant être interprétées comme des zones atteintes par un processus de résorption s'effectuant en dehors de la présence des ostéoclastes.

Je ne songe pas à nier, contre les auteurs qui les ont observées, la réalité de ces images, mais je dois dire que je n'en ai pratiquement jamais rencontré au niveau des os de la voûte du crâne du fœtus du Mouton. De telles surfaces m'ont paru, dans cet objet, dépouillées seulement en apparence : à leur niveau, j'ai rencontré toujours, plus ou moins nombreuses, des cellules aplaties, semblables à des cellules conjonctives banales. Je serais porté à interpréter ces régions, non point comme des lieux d'ostéolyse mais comme des zones silencieuses, suivant l'expression de KÖLLIKER, dans lesquelles il ne se fait pour le moment ni résorption, ni apposition.

En résumé, je crois pouvoir tirer de cet examen critique et de mes propres observations les conclusions suivantes, que je limite volontairement aux objets que j'ai étudiés dans ces recherches, mais qui les dépassent vraisemblablement de beaucoup.

Dans l'impossibilité où nous sommes, pour le moment, de résoudre le problème biologique de la résorption osseuse, autrement que par des données morphologiques, on n'a avancé aucun fait qui prouve que les ostéoclastes sont des éléments en voie de dégénération, ne jouant aucun rôle dans l'érosion de l'os.

Histologiquement et topographiquement tout plaide en faveur de l'hypothèse que les ostéoclastes sont les agents actifs de cette érosion et qu'ils n'en sont point simplement les témoins passifs,

et en quelque sorte fortuits. Il serait faux et scientifiquement bien présomptueux de nier le rôle probable de ces cellules, sous le prétexte que nous connaissons encore très imparfaitement le mécanisme de leur action.

Sur la question de savoir si, à côté du procédé de résorption osseuse par les ostéoclastes, il en existe un autre dû à des causes humorales et tenant en particulier à l'action d'agents décalcifi-cateurs, tel que CO_2 , je ne puis me prononcer d'une façon formelle.

Je dois faire remarquer cependant, d'une façon très générale, que cette hypothèse, pour séduisante qu'elle soit, n'est encore qu'une hypothèse qui ne s'appuie sur aucune preuve histo-chimique positive; et pour ce qui concerne spécialement la résorption des os du crâne du Mouton en voie de développement, je déclare qu'aucune image histologique ne me permet d'apporter la moindre preuve, même indirecte, en faveur d'une ostéolyse s'effectuant sans l'intervention des ostéoclastes.

4° Les arguments histologiques invoqués en faveur de la croissance interstitielle du tissu osseux.

a) L'ARGUMENT DE RUGE. — Les seuls faits histologiques qu'on a pu invoquer en faveur de la conception de la croissance interstitielle du tissu osseux sont dus à RUGE (1). Cet auteur a constaté que, d'une manière générale, les cellules osseuses sont plus nombreuses dans l'os jeune que dans l'os complètement édifié; il en a conclu que cette discordance s'explique par un écartement de cellules osseuses par le dépôt de particules d'osséine nouvelles entre les particules déjà déposées.

L'argument de RUGE repose sur un fait d'observation exact et il a été utilisé par tous les défenseurs de la croissance interstitielle. Récemment encore RETTERER (2) lui accordait une valeur décisive.

(1) RUGE (C.), *Über cellulares und intercellulares (interstitielle) Knochen wachstum*. *Arch. f. path. Anat. u. Physiol. und Klin. Med.*, Bd 59, 237-251, 1871.

(2) RETTERER, *C. R. Assoc. des Anat.* Discussion communication LATARJET. 14^e Réunion, Rennes, p. 90, 1912.

b) **CRITIQUE DE L'ARGUMENT DE RUGE.** — Cette preuve histologique est plus solide en apparence qu'en réalité; si le fait est exact, les conséquences qu'on a prétendu en tirer le sont beaucoup moins.

Pour être certain que la distance qui sépare deux ou plusieurs cellules osseuses a augmenté au cours de la croissance, il faudrait être sûr que les cellules qui ont apparu dans l'os jeune sont restées les mêmes dans l'os achevé. Or, cela n'est pas; l'os pendant toute sa croissance, et même durant toute son existence, est soumis à des remaniements constants, constituant ce que RENAUT (1) a appelé la variation modelante du tissu osseux. Les cellules qu'on observe à un moment donné sont autres que celles qui existaient plusieurs mois auparavant; l'os qui les contenait a été remanié, détruit, totalement ou partiellement, et remplacé par l'os de nouvelle formation. Les résultats de RUGE ne peuvent donc pas démontrer, même indirectement, que la raréfaction des cellules osseuse de l'os adulte tient à leur écartement par accroissement de la substance intercellulaire.

5° **Conclusions.** — En somme, il résulte des constatations qui précèdent :

1° Que les os, quel que soit leur mode d'origine, utilisent pour leur édification et leur accroissement deux processus histologiques très généraux : l'apposition de substance osseuse nouvelle s'ajoutant aux parties déjà édifiées; la résorption qui fait disparaître les parties inutiles, soit d'une façon définitive, soit d'une façon transitoire, lorsque celles-ci doivent être remplacées par d'autres de forme et de structure différentes.

2° Ces processus sont sous la dépendance d'actions cellulaires. Les agents de l'édification sont les ostéoblastes qui agissent en sécrétant l'osséine; l'origine de cette substance par transformation du protoplasma des ostéoblastes ne nous paraît pas démontrée.

L'érosion osseuse nous a paru être sous la dépendance des ostéoclastes.

(1) RENAUT (J.), Enseignement oral d'après G. DUBREUIL.

L'origine, la cytologie, l'évolution et la répartition de ces cellules doivent les faire considérer comme des éléments parfaitement actifs et ne permet pas de leur attribuer la signification de formes dégénérées sans valeur fonctionnelle.

Sans nier la possibilité de la résorption osseuse, en dehors de l'intervention des ostéoclastes, nous pensons que ce procédé est exceptionnel, si tant est qu'il existe au niveau des os de la voûte du crâne, spécialement étudiés à cet égard.

3° Les arguments histologiques invoqués en faveur de la conception de la croissance interstitielle du tissu osseux sont de valeur nulle.

CHAPITRE III

Etude du développement de la cavité crânienne chez le Mouton. Méthode de recherches et procédés techniques. Anatomie sommaire des parois de la cavité crânienne du Mouton adulte. Etude de la formation des pièces limitant la cavité crânienne. Phénomènes d'érosion et d'apposition osseuses.

I. — Méthode de recherches et procédés techniques

Ce chapitre porte sur l'étude histologique des processus qui président à la formation et à l'accroissement des os du crâne, considérés individuellement.

Après avoir indiqué la méthode générale de recherches et la technique adoptée, nous étudierons la constitution de la paroi de la cavité crânienne chez l'adulte et nous verrons comment, en prenant pour point de départ le stade du chondrocrâne, se constituent et s'accroissent les pièces osseuses qui entrent dans le cadre de l'étude que nous avons entreprise.

L'étude analytique des phénomènes histologiques observés dans ces os, aux divers stades de leur évolution, est indispensable pour déceler les procédés généraux relativement simples qui, par leurs combinaisons variées suivant les endroits et suivant les moments, permettent d'expliquer l'accroissement progressif des différents diamètres de la cavité crânienne.

. * .

A) **Objet d'étude.** — Nous avons choisi comme objet d'étude le crâne du Mouton et nous avons limité nos recherches à la période fœtale depuis le stade de 45 millimètres jusqu'à celui de 50 centimètres, correspondant à des individus à terme.

On pourra nous objecter que le crâne du Lapin eût été plus favorable à certains égards. Ce choix nous aurait assurément permis d'obtenir des sujets d'âge rigoureusement déterminé par la date du coït fécondant; il est certain aussi que la taille beaucoup plus faible de l'objet aurait notamment simplifié la besogne matérielle. Cette espèce a été rejetée parce que les os du crâne, et ceux de la voûte en particulier, sont d'une minceur extrême et d'une constitution telle que les phénomènes histologiques dont nous recherchions les manifestations y sont mal appréciables. En second lieu, la rapidité du développement nous a paru peu propre à la mise en évidence des processus d'accroissement et de leurs conséquences mécaniques.

D'ailleurs, surtout dans les premiers âges, les observations de stades suffisamment rapprochés évitent les causes d'erreur tenant à des variations de longueur individuelle. Les stades de 43, 73, 100, 113, 150, 200, 300, 450, 500 millimètres nous ont paru, après examen et vérification de quelques sujets de tailles intermédiaires, constituer une série suffisamment serrée.

Nos recherches ont été limitées à l'étude de l'accroissement de la cavité crânienne pendant la période fœtale. C'est, en effet, pendant ce temps que l'augmentation du volume de la cavité crânienne est la plus rapide et la plus sensible et que les processus histologiques se révèlent avec toute leur pureté. L'observation microscopique de crânes jeunes ou adultes, quand elle veut être suffisamment précise, se heurte à des difficultés très sérieuses, dont nous aurons à reparler.

Des conditions matérielles peu favorables nous ont empêché de réaliser le désir que nous avions, d'aborder, par l'expérimentation, l'étude de certains points de mécanisme de l'accroissement de la cavité crânienne chez le Mouton. Nous avons pensé, en particulier, pouvoir, en appliquant le procédé des repères combiné à la radiographie suivant G. DEBREUIL, ajouter une confirmation expérimentale aux preuves de l'accroissement appositionnel des os de la voûte. Mais le séjour des laboratoires est rapidement néfaste aux jeunes animaux en expérience, et nous avons été arrêté dans nos tentatives par des difficultés matérielles que nous n'avons pu vaincre.

B) Recherches macroscopiques. — Pour aborder avec fruit cette étude, il a été nécessaire d'établir tout d'abord la constitution exacte de la cavité cranienne chez le Mouton.

a) ETUDE ANATOMIQUE DE CRANES JEUNES ET ADULTES. — La description, purement analytique, donnée plus loin, a uniquement pour but de déterminer avec précision la situation et les rapports des différentes pièces osseuses et de poser, en quelque sorte, l'aboutissant des phénomènes qu'on se proposait d'étudier.

Il est à peine besoin d'ajouter que cette investigation préalable était indispensable pour permettre une localisation précise des faits révélés par l'observation des coupes.

Dans ce but, nous avons étudié des têtes adultes, dépouillées des parties molles par ébullition ménagée, et préparées ensuite par des sections appropriées, en vue de l'étude de la constitution des parois craniennes. L'observation de crânes de jeunes sujets nous a permis d'obtenir, isolées, les pièces osseuses et de les replacer ensuite artificiellement dans leur situation exacte. Ces préparations, très faciles à réaliser lorsque les liaisons entre les os sont encore faibles, révèlent des détails d'organisation difficiles à observer chez les individus âgés.

b) DIAGRAMMES DE CROISSANCE. — Les modifications générales des formes et des dimensions de la cavité cranienne aux divers stades du développement ont été appréciées par des diagrammes de croissance obtenus de la façon suivante :

Après fixation par injection intra-cérébrale de quelques gouttes de la solution de formol du commerce, les têtes sont plongées pendant un temps variable, suivant le volume, dans une solution aqueuse de formol à 5 pour 100, puis durcies par un séjour prolongé dans l'alcool à 80° et, enfin, décalcifiées par immersion dans une solution aqueuse d'acide azotique à 5 pour 100 pendant un temps qui varie avec le volume et l'âge. Lavage à l'eau courante pendant quelques heures pour enlever l'acide.

A chaque stade choisi, deux têtes ainsi préparées ont été traitées comme suit : l'une est coupée sagittalement suivant la ligne médiane, l'autre est débitée par plusieurs sections vertico-frontales, passant : la première immédiatement en arrière de

l'orbite ; la deuxième, immédiatement en avant du conduit auditif externe, la troisième à égale distance de ces deux points.

Rapportées à des repères osseux situés sur la base du crâne, ces coupes répondent respectivement : à la gouttière optique, à la partie moyenne de la fosse hypophysaire, et à l'union du tiers antérieur avec les deux tiers postérieurs du basi-occipital.

Quelques précautions sont indispensables pour obtenir des coupes comparables entre elles aux divers stades. Il a paru avantageux de désarticuler la mâchoire inférieure, puis d'abattre la partie inférieure du massif facial par une section plane, tangente à la saillie inférieure des condyles occipitaux. On a pu ainsi, en appliquant cette face de coupe sur une surface plane, placer, les divers crânes dans une position déterminée, fixe et constante. Malgré tout, il est possible que des erreurs aient été commises, car il est plus difficile qu'on ne pourrait l'imaginer, de prime abord, de mener les coupes suivant des plans rigoureusement frontaux.

Ces erreurs nous ont paru, cependant, négligeables, car nous voulions déterminer le sens général des phénomènes plutôt que mesurer rigoureusement l'accroissement de la cavité crânienne dans ses différents diamètres.

Les pièces ainsi obtenues furent incluses en gélatine, et en éclairant fortement les blocs, par une de leurs faces, il fut possible de décalquer, sur la face opposée, le contour de la cavité crânienne.

Les dessins reproduits et agrandis à des dimensions choisies, par l'appareil à dessiner de G. DUBREUIL, furent ensuite superposés.

Pour procéder à cette superposition, il a été nécessaire de prendre des points fixes, ou tout au moins relativement fixes.

L'accroissement de la cavité crânienne dans les plans verticaux se fait surtout par élévation de la voûte ; les points fixes ont, pour cette raison, été choisis à la base, dans des régions qui nous ont paru échapper en grande partie à l'action des processus qui déterminent l'extension de la cavité crânienne en hauteur.

Les images des diverses coupes passant par la gouttière optique ont été superposées par rapport au plan horizontal des ailes orbitaires du sphénoïde. Le plan fixe, choisi pour la superposition des figures des coupes intéressant la selle turcique, fut le plan horizontal supérieur de la racine de l'aile temporale du sphénoïde ; et c'est par rapport au bord supérieur des capsules auditives intéressées par la section qu'on a superposé les dessins des coupes passant immédiatement en avant du conduit externe (*fig. 65, 66, 67*).

Les diagrammes sagittaux ont été traités d'une façon semblable. Comme centre de superposition, on a choisi le milieu de la selle turcique, en tenant compte approximativement de l'approfondissement apparent de la fosse hypophysaire (*fig. 64*).

Ce choix est évidemment arbitraire, car les véritables points fixes dans l'allongement de la cavité crânienne sont les condyles occipitaux liés à la colonne vertébrale. C'est pourquoi ces diagrammes de croissance ne peuvent pas renseigner sur les déplacements respectifs de telle ou de telle région, de la voûte ou de la base ; ils sont, simplement, destinés à apprécier la marche générale de l'accroissement global de la cavité crânienne, envisagée en elle-même.

c) ETUDE DE CRANES TRAITÉS PAR LA MÉTHODE DE SPALTEHOLZ. — Nos recherches macroscopiques ont été complétées par l'étude de crânes de fœtus de 40, 50, 60, 70, 80, 100, 120, 170, 200, 250 millimètres traités par la méthode de SPALTEHOLZ.

Comme on le sait, ce procédé permet de déceler les points d'ossification, d'étudier leur extension et d'observer, le cas échéant, leur fusion. Il est surtout indiqué aux stades jeunes où la minceur des parties molles se prête à un éclaircissement facile et dans lesquels les points d'ossification, encore bien distincts, se révèlent avec la plus grande netteté.

Les renseignements obtenus par ce procédé nous ont facilité bien souvent la lecture de nos coupes, et nous ferons certainement appel à cette convergence des méthodes dans les recherches que nous projetons sur certains points particuliers du développement des os du crâne.

J'ajoute que, à partir du stade de 30 centimètres, les indications de la méthode d'éclaircissement nous ont paru, pour la réalisation du but poursuivi, moins impérieuses.

C) **Recherches microscopiques.** — La méthode microscopique nous a permis d'aborder, en eux-mêmes, et dans leurs conséquences mécaniques, les phénomènes histologiques mis en œuvre par les os du crâne au cours de leur développement et de leur croissance.

a) **PRÉLÈVEMENT ET FIXATION DES PIÈCES.** — Les pièces ont été prélevées dans les meilleures conditions de fraîcheur dans les salles d'abatage des abattoirs de Bordeaux, où M. Viallet, vétérinaire adjoint, nous a réservé l'accueil le plus courtois. Après mensuration des sujets, les têtes ont été séparées du corps et fixées, soit par le formol à 5 pour 100, soit par le liquide de, ZENKER. Ce fixateur convient surtout pour les petits objets, dont la pénétration complète n'exige pas un séjour trop prolongé dans le liquide.

C'est pourquoi nous avons, dans la majorité des cas, utilisé le formol en solution aqueuse à 5 pour 100; il a l'avantage d'agir lentement et de permettre, sans inconvénients pour la colorabilité, une bonne fixation de pièces relativement volumineuses.

Fréquemment, au cours de la fixation du crâne, il se produit des rétractions tenant à l'hétérogénéité des objets et à l'action inégale exercée par le fixateur sur des parties très différentes les unes des autres. Ces déformations sont fâcheuses. On peut arriver à les éviter, notablement, en injectant dans la cavité crânienne quelques gouttes de la solution de formol du commerce. Malgré ces précautions, le résultat cherché n'a pas été toujours parfaitement atteint.

b) **DÉCALCIFICATION.** — Nous nous sommes servi, pour obtenir la décalcification, d'acide azotique en solution aqueuse à 3 pour 100. L'acide azotique employé doit être pur si on veut éviter le jaunissement des pièces. Cette concentration de la solution nous a paru suffisante pour la plupart des cas. Pour ménager la structure fine des éléments, nous avons préféré

allonger le temps de la décalcification et réserver des solutions d'un titre supérieur, plus actives, au traitement des crânes venant de sujets près du terme.

Après le traitement par l'acide azotique, il est indispensable pour obtenir de bonnes inclusions et des colorations convenables, de laver soigneusement les objets à l'eau courante pendant vingt-quatre heures, et de les laisser séjourner ensuite un temps égal dans l'eau fortement additionnée de bicarbonate de soude. Un dernier bain de quelques heures à l'eau courante est nécessaire pour éliminer toute trace de ce sel.

c) INCLUSION. — Les inclusions ont été faites dans la celloïdine; c'était la seule méthode applicable à ces objets très durs.

d) COUPES EN SÉRIE. — A chaque stade étudié, nous avons réalisé une série de coupes sagittales du crâne et une série de coupes frontales. Toutes ces coupes ont été colorées par l'hématéine-éosine. Ce dernier colorant, utilisé en solution alcoolique faible, à 1 pour 1.000, et agissant pendant vingt-quatre heures, nous a donné des teintes beaucoup plus pures et des élections bien plus précises que celles qu'on obtient avec des solutions de concentration plus élevée, à action rapide.

Il est évident que les grosses pièces ont dû être fragmentées; c'est là une nécessité inéluctable. Cette fragmentation n'est pas sans inconvénients et elle peut entraîner parfois des lacunes fâcheuses dans la régularité des séries. La réalisation à chaque stade d'une double série de coupes frontales et sagittales permet, dans les cas malheureux, de rétablir les dispositions réelles.

L'observation des coupes a permis d'étudier chaque os dans toute son étendue, de déterminer la localisation précise des phénomènes histologiques observés et de se faire une idée de leurs conséquences.

e) REPÉRAGE DES PHÉNOMÈNES OBSERVÉS. — Chaque fois que cela nous a paru nécessaire, nous avons établi la topographie de l'érosion osseuse par le procédé suivant :

Dans les régions où l'observation des coupes révélait des phénomènes intéressants, les préparations étaient dessinées à un faible grossissement par projection à l'appareil d'EDINGER. Un

des inconvénients de cet instrument, par ailleurs excellent, est d'utiliser comme source lumineuse l'arc électrique. L'éclairage ainsi obtenu est largement suffisant, mais il est soumis à des variations fréquentes, très gênantes dans la pratique. Pour remédier à ce désavantage, le modèle du Laboratoire d'Histologie de Bordeaux fut, sur les indications de M. le Professeur G. DUBREUIL, modifié très heureusement par le docteur RUBENTHALER. On a substitué à l'arc une lampe électrique de 12 volts qui fournit une belle lumière recueillie et concentrée par un condensateur réglable. Il en résulte une facilité de travail incomparable.

Sur les dessins ainsi obtenus, il fut facile ensuite, en reprenant l'examen des coupes au microscope, de déterminer l'emplacement précis des ostéoclastes.

f) RECONSTRUCTIONS GRAPHIQUES. — C'est grâce à l'appareil d'EDINGER qu'ont été obtenues les projections planes des coupes qui nous ont servi à la reconstruction graphique des parois de la cavité crânienne au stade de 45 millimètres et au stade de 10 centimètres.

L'illustration des faits histologiques a été réalisée au moyen de dessins obtenus à la chambre claire pour les forts grossissements, et avec l'appareil d'EDINGER pour les autres. La méthode photographique donne, sans doute, des documents d'une bien plus grande valeur, mais elle n'est guère applicable, avec de bons résultats, à la représentation des objets vus sous un fort grossissement.

Nous avons cependant, chaque fois que la chose a été possible, utilisé l'illustration microphotographique. Les épreuves insérées plus loin proviennent de clichés obtenus avec le grand appareil à microphotographie de Zeiss. Nous en donnons les principales, surtout à titre documentaire, car à ce titre elles ne peuvent tromper.

II. — Etude du développement de la cavité crânienne chez le Mouton.

A) Constitution anatomique sommaire des parois de la cavité crânienne osseuse du Mouton. — Pour interpréter les figures microscopiques étudiées au cours de ces recherches et pour localiser avec pré-



FIG 16. — Base du crâne d'un Agneau de trois semaines. Grandeur nature.

1 Ethmoïde. 1' Lame criblée de l'ethmoïde. 2 Pré-sphénoïde. 3 Orbito-sphénoïde. 3' Extrémité cartilagineuse de l'orbito-sphénoïde. 4 Basi-sphénoïde. 5 Ali-sphénoïde. 6 Squamosal. 7 Os pétreux. 8 Basi-occipital. 9 Ex-occipital. 10 Union du pré-sphénoïde et du basi-sphénoïde. 11 Dorsum sellæ et, en arrière de lui, l'union du basi-sphénoïde et du basi-occipital. 12 Union de l'ex-occipital et du basi-occipital. 13 Union des deux ex-occipitaux au-dessus du trou occipital. 14 Gouttière optique. 15 Fente sphénoïdale. 16 Trou ovale. 17 Trou déchiré. 18 Trou condylien.

cision les phénomènes observés, il nous a été nécessaire de connaître la constitution des parois de la cavité crânienne du

Mouton et de déterminer, aussi exactement que possible, la façon dont les diverses pièces osseuses se mettent en rapport entre elles pour limiter cette cavité. Nous pensons qu'une description sommaire, volontairement localisée aux points qui nous intéressent directement, aura aussi pour avantage de faciliter la lecture des chapitres ultérieurs.

Notre étude a porté sur l'observation de crânes de Moutons adultes, combinée à celle de la tête de jeunes sujets de trois à cinq semaines ; ces derniers se prêtent très facilement à la préparation des pièces du crâne isolées et à la reconstruction consécutive ; cela offre, entres autres avantages, celui d'acquérir une connaissance précise du mode de liaison des divers os entre eux.

La paroi inférieure de la cavité cranienne est formée en avant par les deux lames criblées de l'ethmoïde (*fig. 16 [1']*) séparées l'une de l'autre par la saillie verticale et sagittale de l'apophyse *crista galli* que prolonge en bas la lame perpendiculaire. En arrière des lames criblées, la paroi cranienne est constituée par la face endocranienne du pré-sphénoïde (*fig 16 [2]*) dont la limite postérieure est indiquée chez les jeunes sujets par la trace d'un cartilage de conjugaison (*fig. 16 [10]*). Des bords latéraux du sphénoïde se détachent, d'abord horizontales, puis relevées latéralement sur les côtés du crâne, les deux ailes antérieures ou ailes orbitaires du sphénoïde ou orbito-sphénoïdes (*fig. 16 [3]*). Entre le bord antérieur de ces petites ailes et le bord externe des lames criblées règne, de part et d'autre, un vaste espace que vient combler la puissante apophyse orbitaire interne du frontal.

A la face supérieure des petites ailes, dans la région de leur racine, on trouve la forte dépression transversale de la gouttière optique (*fig. 16 [14]*) que prolongent, vers les cavités orbitaires, les deux canaux optiques terminés par les deux trous optiques.

En arrière du pré-sphénoïde, la base du crâne est constituée axialement par le basi-sphénoïde (*fig. 16 [4]*) dont la face endocranienne nous intéresse seule ; celle-ci est déprimée for-



FIG. 17. — Fœtus de Mouton à terme (50 centimètres). Formol à 5 pour 100. Hématoxyline-éosine. Gr. : 40 D.

Coupe vertico frontale du crâne passant par le trou ovale que l'on voit dans la partie inférieure et gauche de la figure.

La préparation est destinée à montrer la superposition, à la paroi latérale du crâne des trois os qui sont, en allant de dedans en dehors (de gauche à droite dans la figure) : le pariétal, l'ali-sphénoïde, le squamosal.

tement par la fosse hypophysaire, limitée en arrière par la puissante saillie d'une lame osseuse transversale, un peu couchée en avant, formant le *dorsum sellæ* ou dossier de la selle turcique (*fig. 16 [11]*).

Le corps du basi-sphénoïde se prolonge sur les parties latérales de la base du crâne par deux fortes lames osseuses de forme générale quadrilatère; ce sont les ailes postérieures ou ailes temporales du sphénoïde ou ali-sphénoïdes (*fig. 16 [5]*). Leur description mérite de retenir un instant notre attention. Le bord antérieur, épais et mousse, est horizontal et libre dans la plus grande partie de son étendue, il se relève progressivement vers son extrémité externe et présente, à ce niveau, une petite surface irrégulière sur laquelle vient se poser une surface analogue, siégeant sur le bord postérieur de l'orbito-sphénoïde, situé au-dessus et en avant. Entre ce point de contact et leur insertion respective sur le prés-phénoïde et le basi-sphénoïde, les bords opposés des deux ailes sphénoïdales interceptent entre elles un orifice ovalaire, obliquement dirigé en haut et en dehors, présentant une grosse extrémité inférieure et interne et un pôle plus rétréci, supérieur et externe. Chez tous les individus que nous avons observés, cet orifice était toujours unique; nous n'avons jamais constaté sa séparation en une partie inférieure et interne et une partie supérieure et externe, correspondant respectivement au trou grand rond et à la fente sphénoïdale du crâne humain. Cet orifice est essentiellement destiné au passage du nerf maxillaire supérieur de la branche ophtalmique de la V^e paire et aux nerfs moteurs des muscles du globe oculaire (*fig. 16 [15]*).

Le bord externe de l'aile temporale du sphénoïde est mince et tranchant; il sépare la face endocranienne de la face exocranienne de cette aile. Ce bord n'est pas apparent sur le crâne complet. Il s'engage profondément entre l'écaille du temporal en dehors et le pariétal en dedans. En effet, dans cette région, le pariétal, par son bord inférieur, se glisse profondément à la face interne du squamosal, puis de l'aile sphénoïdale, et c'est lui qui forme la limite même de la cavité crânienne à ce niveau. En d'autres

termes, dans cette région, trois os superposés constituent la paroi crânienne; ce sont, de dehors en dedans : le squamosal, l'aile temporale du sphénoïde, le pariétal. Le squamosal ne participe donc pas immédiatement à la limitation de la cavité cra-



Fig. 18. — Crâne d'un Agneau de trois semaines. Vue latérale. Grandeur nature.
1 Frontal. 2 Nasal. 3 Lacrymal. 4 Maxillaire supérieur. 5 Zygomatic. 6 Pariétal. 7 Inter-pariétal.
8 Supra-occipital. 9 Ex-occipital. 10 Os pétreux. 11 Squamosal. 12 Suture interfrontale. 13 Suture fronto-pariétale. 14 Suture interpariétale. 15 Suture parieto-occipitale. 16 Cartilage de conjugaison entre l'ex-occipital et le supra-occipital. 17 Suture pétro-squameuse externe. 18 Suture pétro-occipitale.

nienne (fig. 17 et fig. 73). Cette portion recouverte du pariétal est épaisse et nettement appréciable chez les jeunes sujets; plus tard, elle s'amincit; elle peut même disparaître par places; mais

elle ne manque jamais. Cette évolution nous a paru assez intéressante pour nous porter à recueillir des matériaux destinés à une étude qui fera l'objet d'un travail spécial.

Dans sa région moyenne, l'ali-sphénoïde est perforé par le volumineux orifice de sortie du nerf maxillaire inférieur (*fig. 16 [16]*). Le bord postérieur de l'aile sphénoïdale, d'abord horizontal, ne tarde pas à se relever obliquement en dehors et en arrière ; nous en reprendrons l'étude dans un instant.

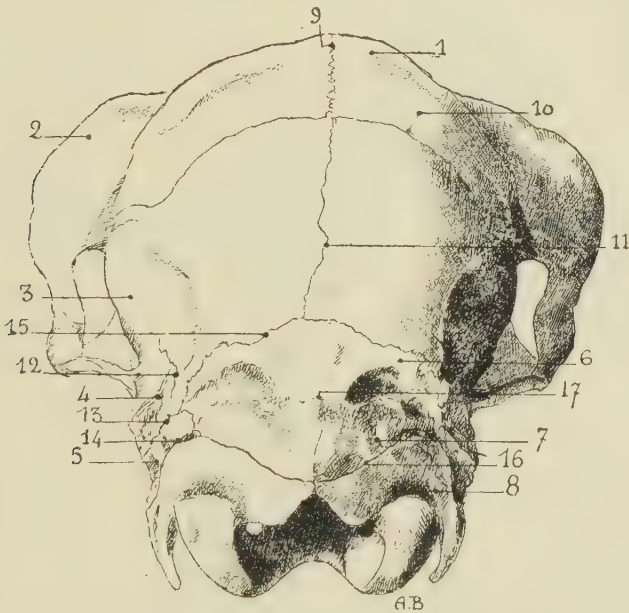


FIG. 19. — Voûte du crâne d'un Agneau de trois semaines. Grandeur nature. Vue postérieure.

- 1 Frontal. 2 Apophyse orbitaire externe du frontal. 3 Pariétal. 4 Squamosal. 5 Os pétreux. 6 Interpariétal. 7 Supra-occipital. 8 Ex-occipital. 9 Suture interfrontale. 10 Suture fronto-pariétale. 11 Suture interpariétale. 12 Suture pariéto-squameuse. 13 Suture pétro-squameuse externe. 14 Suture pétro-occipitale. 15 Suture pariéto-occipitale. 16 Union cartilagineuse des ex-occipitaux avec le supra-occipital. 17 Traces de la suture entre l'interpariétal et le supra-occipital.

En arrière du basi-sphénoïde, la base du crâne est formée axialement par le basi-occipital (*fig. 16 [8]*) dont la paroi supérieure est nettement déprimée par une large gouttière sagittale. Chez les jeunes Moutons de quatre ou cinq semaines, le basi-occipital est encore nettement séparé du basi-sphénoïde par un

cartilage de conjugaison ; de même, à cet âge, le basi-occipital est encore isolé par deux cartilages de conjugaison des ex-occipitaux qui le prolongent latéralement sur les côtés de la cavité crânienne (*fig. 16 [12]*).

Vu par sa face endocrânienne, le basi-occipital a la forme d'un hexagone irrégulier ; le bord antérieur répond au bord postérieur du basi-sphénoïde ; le bord postérieur mousse et légèrement concave en arrière est libre et forme le bord inférieur du trou occipital. Des quatre bords latéraux, deux sont antérieurs et deux postérieurs. C'est par les bords postérieurs et latéraux que se fait l'union entre le basi-occipital et les deux occipitaux.

Les bords antérieurs et latéraux, obliques d'arrière en avant et de dedans en dehors, sont libres.

Le bord postérieur de l'aile temporale du sphénoïde, d'une part, le bord antérieur latéral du basi-occipital, prolongé en arrière et en dehors par le bord antérieur de l'ex-occipital, d'autre part, interceptent, sur les côtés de la cavité crânienne, un vaste espace angulaire, ouvert en arrière et en haut, dans lequel vient se loger la pyramide pétreuse de l'os temporal (*fig. 16 [7]*), doublée inférieurement par la partie supérieure et interne de la bulle tympanique.

L'oblitération de cet espace est incomplète : il persiste entre ces divers os une fente irrégulière : l'hiatus sphéno-temporo-occipital (*fig. 16 [17]*), qui est converti à l'état frais par un pont fibreux en deux orifices secondaires : l'un antérieur et inférieur, destiné au passage de l'artère carotide interne, c'est le trou déchiré antérieur ; l'autre, postérieur et supérieur, où s'engagent les nerfs du groupe du vague, c'est le trou déchiré postérieur.

La paroi crânienne est complétée par les os suivants : les deux ex-occipitaux, l'écaille occipitale, les deux pariétaux, les deux frontaux.

Les deux ex-occipitaux et l'écaille occipitale forment, avec le basi-occipital, un os unique chez l'adulte ; l'écaille occipitale est elle-même une formation complexe résultant de la fusion d'une partie cartilagineuse, le supra-occipital avec un os de membrane, l'interpariétal.

Les deux ex-occipitaux (*fig. 16* [9], *fig. 18* [9], *fig. 19* [8], *fig. 75*) constituent, par leur face endocranienne, les parois latérales et supérieure du trou occipital. Chacun d'eux a la forme générale d'un croissant à concavité interne. Par sa branche supérieure l'ex-occipital, d'un côté, s'unit à celui du côté opposé pour fermer dorsalement le trou occipital. Un cartilage

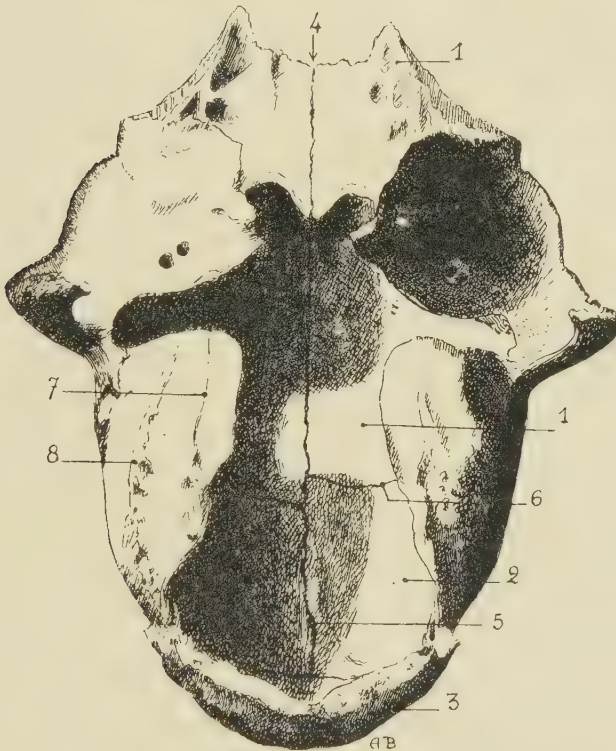


FIG. 20. — Voûte du crâne d'un Agneau de trois semaines. Grandeur nature. Vue par la face endocranienne.
1-1 Frontal. 2 Pariétal. 3 Ecaille occipitale. 4 Suture interfrontale.
5 Suture interpariétale. 7 Crête d'empreinte de l'ali-sphénoïde à la face externe de la portion inférieure du pariétal. 8 Crête d'empreinte du squamosal à la face externe de la portion inférieure du pariétal.

de conjugaison sagittal, encore présent à la naissance, solidarise les deux os à ce niveau (*fig. 16* [13], *fig. 69*). La branche inférieure de l'ex-occipital vient s'unir au bord postérieur latéral correspondant du basi-occipital. Chez l'adulte, le cartilage de

conjugaison interposé entre ces deux parties osseuses a disparu, mais, à la naissance, il marque encore leurs limites respectives (*fig. 16 [12], fig. 75*).

La voûte crânienne est complétée par l'écaille occipitale, qui prolonge en haut et en avant les bords supérieurs des deux ex-occipitaux. C'est un os aplati, de forme irrégulièrement pentagonale, dont le bord supérieur horizontal se fond, chez l'adulte, avec le bord supérieur des deux ex-occipitaux; à la naissance, un cartilage de conjugaison horizontal réunit encore ces deux formations osseuses (*fig. 18 [16], fig. 19 [16], fig. 69*).

Par ses deux côtés antérieurs et supérieurs, l'écaille s'unit par une suture aux deux bords postérieurs des pariétaux (*fig. 18 [13], fig. 19 [15]*); l'angle antérieur et supérieur de l'écaille occipitale répond à l'extrémité postérieure de la suture interpariétale. Il en résulte la formation de la suture lambdoïde bien visible sur les jeunes crânes, mais absente chez l'adulte, par suite de la disparition complète et précoce de la suture interpariétale.

Les bords postérieurs externes de l'écaille sont courts et épais; ils marquent, sur l'os adulte, la coudure postérieure de l'écaille occipitale et se mettent en relation avec l'angle formé par l'union de la portion pétreuse et de la portion squameuse du temporal (*fig. 18, fig. 19*).

Les pariétaux, larges et minces, sont deux lames fortement incurvées (*fig. 18 [6], fig. 19 [3]*). Dans chacune d'elles on peut distinguer deux parties : une supérieure, presque plane, qui répond à la région de la voûte proprement dite, une inférieure se courbant latéralement en dedans, en avant et en bas, ferme la cavité crânienne sur ses faces latérales.

On peut décrire à chaque pariétal un bord supérieur, un bord postérieur, un bord antérieur, un bord inférieur.

Le bord supérieur répond à la ligne médiane sagittale et s'unit, comme nous l'avons déjà vu, avec le bord correspondant du côté opposé, par une suture à direction antéro-postérieure faiblement dentelée et de disparition précoce (*fig. 18 [14], fig. 19 [11]*).

Le bord antérieur est sinueux; transversal dans la région de la voûte, il s'incurve fortement pour se porter, latéralement et en

avant, sur les côtés du crâne; il s'unit, par suture, sur la plus grande partie de son étendue avec le bord postérieur du frontal (*fig. 18* [*13*]).

Le bord antérieur se continue avec le bord inférieur, en décrivant un angle à sommet supérieur qui vient combler l'espace résultant de la jonction de la petite aile du sphénoïde avec l'angle antéro-externe de la grande aile de cet os.

Le bord inférieur du pariétal et la région de la face externe de l'os, surmontant immédiatement ce bord, ne s'aperçoivent pas à la face extérieure du crâne, car ils sont recouverts, comme nous l'avons vu, par la portion la plus élevée de l'écaille temporale.

Nous avons indiqué plus haut comment le pariétal glissant en dedans du squamosal, puis de l'ali-sphénoïde, limite directement la cavité crânienne dans cette région (*fig. 17*).

Dans sa partie postérieure, la région recouverte du pariétal s'étend jusqu'à la portion pétreuse du temporal contre laquelle elle vient s'appuyer, et contribue à former, à ce niveau, la paroi du confluent pariéto-temporal.

Par son bord postérieur, le pariétal s'unit par suture au bord antérieur et supérieur correspondant de l'écaille occipitale. L'union du bord postérieur et du bord inférieur du pariétal vient combler l'espace limité par l'écaille occipitale et la portion pétreuse du temporal (*fig. 18* [*15*], *fig. 19* [*15*]).

Le frontal ferme la cavité crânienne, en s'unissant en dedans avec le frontal du côté opposé et en arrière avec le pariétal. Sur les côtés, il complète la paroi crânienne en donnant un point d'appui à l'aile orbitaire du sphénoïde (*fig. 72*), qu'il reçoit dans une profonde mortaise de sa face interne.

Par son apophyse orbitaire interne, le frontal comble l'espace compris entre l'aile orbitaire du sphénoïde et la lame criblée de l'ethmoïde.

En avant, enfin, le frontal par son union avec la face antérieure de l'ethmoïde achève de fermer la cavité crânienne en assurant à ce niveau la jonction de la voûte et de la base (*fig. 22*, *fig. 26*, *fig. 27*).

B) Le chondrocrâne. — Le crâne osseux est précédé dans son développement par des formations cartilagineuses dont l'ensemble constitue le crâne cartilagineux ou chondrocrâne.

La destinée du chondrocrâne est des plus variables suivant les régions considérées. Certaines de ses parties disparaissent sans laisser de traces; d'autres sont envahies par des points d'ossification dont l'évolution aboutit, en définitive, à la formation de pièces osseuses distinctes. Chez le Mouton, le chondrocrâne nous a paru atteindre son plein développement vers le stade de 40 millimètres.

La description que nous donnons se rapporte à un fœtus de cette taille. Nous n'envisagerons, ici, que les points nécessaires

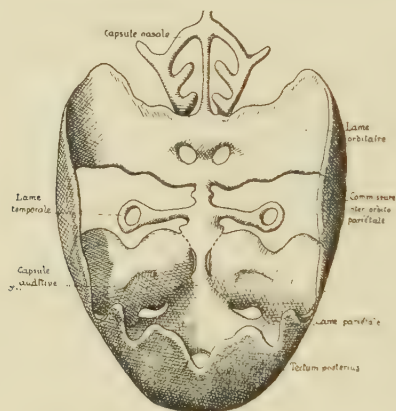


FIG. 21. — Chondrocrâne d'un fœtus de Mouton de 4 centimètres. Gr. : 40 D.

Reconstruction graphique par projection plane à l'appareil d'Edinger de coupes serrées du crâne.

pour comprendre la marche du développement des parties osseuses qui assureront plus tard la limitation de la cavité cranienne (fig. 21).

Avec les auteurs modernes, BARDEEN (1), GAUPP (2) par exemple,

(1) BARDEEN (Ch.), Development of the skeleton and of the connective tissues; in KEIBEL (F.) and MALL (F. P.), *Manual of Human Embryology*, t. 1, p. 398 et suiv., 1910.

(2) GAUPP (E.), Die Entwicklung des kopfskelets; in HERTWIG (O.), *Handbuch Entwicklungslehre der Wirbeltiere*, Bd 3, p. 816 et suiv., 1906.

on peut, dans la masse indivise qui forme le crâne cartilagineux, distinguer trois régions : une région occipitale, une région orbito-temporale, une région ethmoïdale.

a) RÉGION OCCIPITALE. — Dans la région occipitale, le crâne cartilagineux est formé par une lame cartilagineuse dans laquelle se développera, plus tard, la portion basilaire de l'occipital.

Latéralement, cette lame cartilagineuse est en contact avec la capsule auditive cartilagineuse et se continue avec les parties de cartilage où se constitueront plus tard les ex-occipitaux, et qui sont perforées d'un orifice destiné au passage du nerf de la XII^e paire crânienne.

Entre la capsule auditive cartilagineuse, le cartilage basilaire et le cartilage de la région ex-occipitale existe un vaste orifice de contour irrégulier; c'est le trou jugulaire, essentiellement destiné au passage des nerfs du groupe du vague.

Dorsalement, la paroi du chondrocrâne est formée par une mince lame cartilagineuse qui passe comme un pont au-dessus du trou occipital et qui se poursuit en haut et en avant dans la région de la voûte en formant le *tectum posterius* ou *superius* des auteurs.

Sur les côtés du crâne règne une lame cartilagineuse qui se fusionne par son bord postérieur avec le bord antérieur du *tectum superius*. C'est la lame pariétale.

b) RÉGION ORBITO-TEMPORALE. — La région orbito-temporale est formée ventralement par une lame cartilagineuse qui se continue directement, en arrière, avec la plaque basilaire occipitale.

C'est dans cette lame que se développeront, plus tard, le pré-sphénoïde en avant et le basi-sphénoïde en arrière. Dans ce dernier point, le cartilage est fortement déprimé par une fosse hypophysaire déjà bien développée.

Latéralement, le cartilage de la portion basi-sphénoïdale s'étend par un prolongement transversal ou légèrement oblique en haut. C'est l'aile temporale. Chez le Mouton, au stade de 40 millimètres, c'est une lame continue; son ébauche interne ou *processus alaris* de HANNOVER, prolongement direct du cartilage basilaire et son

ébauche latérale (*ala temporalis*), née isolément en dehors, sont fusionnées en une masse unique.

L'aile temporale présente un bord interne qui est adhérent au cartilage basilaire, un bord antérieur et un bord latéral qui sont libres; il en est de même pour le bord postérieur.

Dans sa portion latérale, l'aile temporale est perforée par un volumineux orifice destiné au passage de la branche maxillaire inférieure du nerf de la V^e paire crânienne.

La région antérieure du cartilage basilaire de la région orbito-temporale se prolonge latéralement sur la base, puis sur les côtés, par une puissante expansion cartilagineuse; c'est l'aile orbitaire cartilagineuse du sphénoïde ou lame orbitaire. Le bord supérieur et externe et le bord antérieur de cette lame sont libres; par son bord postérieur, elle se continue avec la commissure orbito-pariétale, pont cartilagineux étroit et allongé, qui l'unit au bord antérieur de la lame pariétale, en passant en dessus et en dehors de la lame temporale, sans entrer en contact avec elle.

c) RÉGION ETHMOÏDALE. — La région ethmoïdale du chondrocrâne n'a pour nous qu'un intérêt secondaire.

A son niveau, on voit que le cartilage basilaire de la région précédente se continue sans s'interrompre, sous forme d'une lame sagittale, *le septum nasal*. Sur les côtés de celui-ci, indépendamment de lui, tout d'abord, se formeront dans le mésenchyme les deux capsules nasales cartilagineuses.

Ces deux capsules se joindront au septum médian et leur face supérieure constituera la lame criblée cartilagineuse tendue horizontalement de part et d'autre de la ligne médiane et formant à ce niveau la base du chondrocrâne.

Il est à remarquer que les capsules nasales, par leurs faces postérieures, restent indépendantes du pré-sphénoïde placé en arrière et ne se soudent à lui que beaucoup plus tard.

On a décrit chez de nombreux Mammifères, sous le nom de cartilage sphéno-ethmoïdal, une lame cartilagineuse tendue entre le bord antérieur de l'aile orbitaire du sphénoïde et l'angle postérieur et externe de la lame criblée de l'ethmoïde. Ce cartilage sphéno-ethmoïdal manque chez le Mouton au stade de

40 millimètres et l'examen d'individus plus âgés, 55, 75, 100 millimètres et au-dessus, ne nous en a pas non plus révélé l'existence.

C) Étude de la formation des pièces osseuses limitant la cavité crânienne.

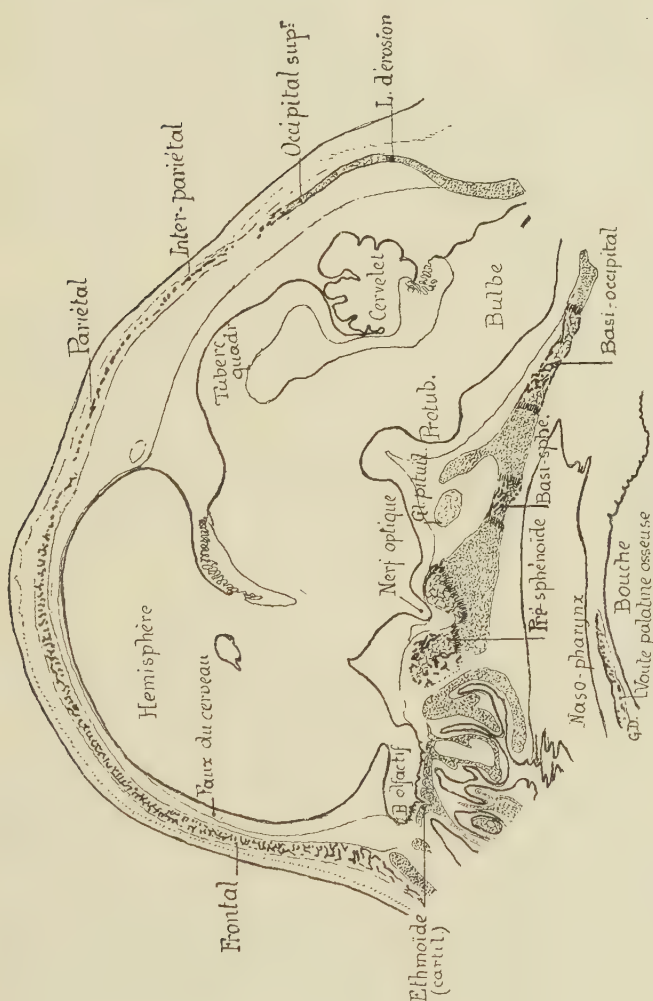


FIG. 22. — Fœtus de Mouton de 11 cent. 5. ZENKER. Hématéine-éosine. Gr. : 4, 4 D.

Dessiné par projection à l'appareil d'ENCER.

Coupe sagittale, totale, juxta-médiane du crâne. Le cartilage est en pointillé; les travées d'os périostique sont en traits noirs épais, les travées d'os enchondral en traits fins; les lignes d'ossification sont marquées par des hachures qui ont la direction des groupes isogéniques du cartilage sénié.

Les os du crâne, développés directement dans le tissu conjonctif ou précédés d'un modèle cartilagineux, apparaissent tout

d'abord sous forme de plages osseuses limitées, constituant les points ou centres d'ossification.

En règle générale, chaque pièce osseuse définitive provient de la fusion, par extension, de plusieurs centres d'ossification que l'on divise suivant leur importance et leur ordre d'apparition en points principaux et en points secondaires.

Chez le Mouton, où le développement est plus rapide que chez l'Homme, c'est d'une façon précoce que s'opèrent ces fusions. Il résulte de ces faits que, dans une même pièce osseuse, pour une espèce donnée, le nombre des centres d'ossification, encore individualisés et distincts, est variable suivant les moments considérés du développement, d'où les divergences possibles dans les descriptions.

La multiplicité des points d'ossification dans une même pièce osseuse, n'a pas, dans tous les cas, les mêmes conséquences pour la marche générale de l'accroissement de la cavité crânienne.

Par exemple, il est bien certain, à ce point de vue, que l'existence d'un cartilage de conjugaison à croissance bipolaire, séparant le corps du basi-sphénoïde de celui du basi-occipital, a une importance capitale dans l'accroissement du diamètre antéro-postérieur de la base du crâne.

Par contre, il est pratiquement indifférent que l'ébauche osseuse du pré-sphénoïde résulte de la fusion précoce sur la ligne médiane de deux centres latéraux ou qu'elle procède d'un point médian unique, étendu ensuite sur les côtés.

Néanmoins, tout en m'abstenant volontairement de poursuivre au cours de ce travail des recherches systématiques sur l'origine, l'évolution et la signification des points principaux et secondaires, j'en ai fait, avec autant de précision que je l'ai pu, une étude sommaire, destinée à appuyer sur des faits objectifs la description qui va suivre. Dans l'ensemble, d'ailleurs, ce que j'ai observé, concorde avec les données générales classiquement admises.

a) **FRONTAL.** — Chacune des moitiés du frontal définitif se constitue aux dépens d'un centre d'ossification principal qui

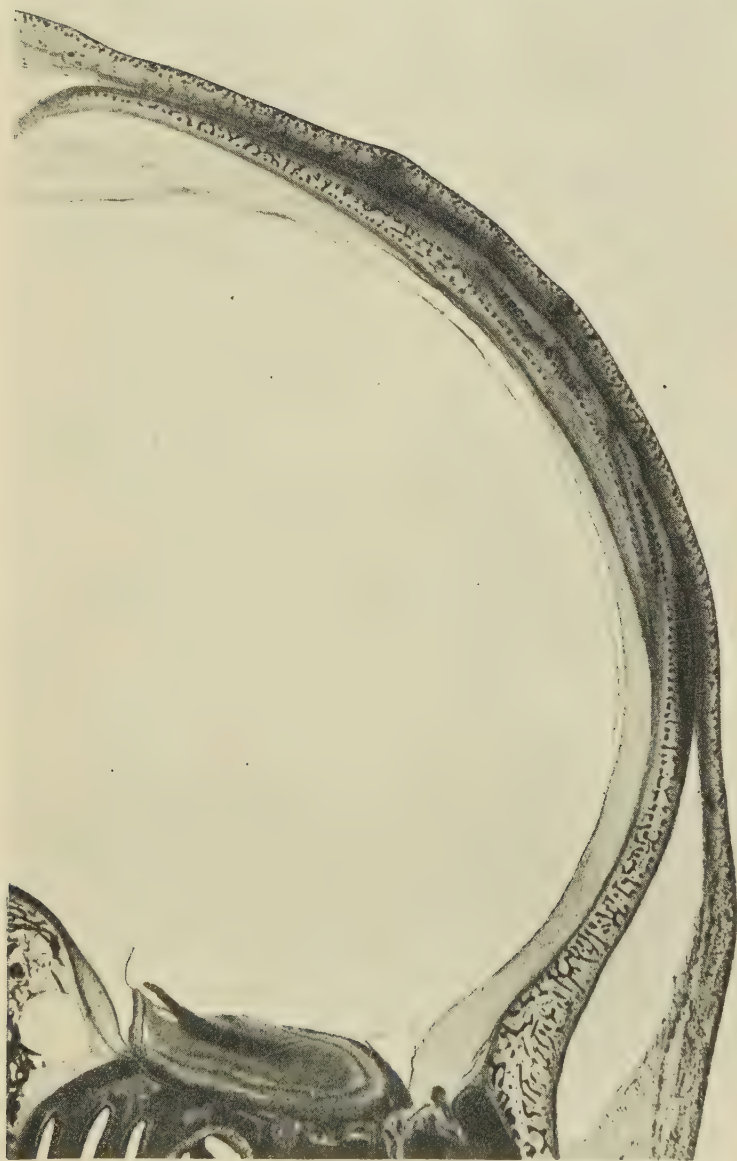


FIG. 23. — Fœtus de Mouton de 15 centimètres. Formol à 5 pour 100. Hématéine-éosine. Gr. : 6,9 D.

Coupe sagittale juxta-médiane de l'écaille frontale intéressant la paroi interne du lobe olfactif du côté correspondant et montrant l'imbrication des travées osseuses successives au voisinage du bord sagittal de l'os.

apparaît de part et d'autre de la ligne médiane dans la région du rebord orbitaire et qui s'étend en arrière et sur les côtés. Au stade de 30 millimètres, les deux centres sont déjà bien apparents; il persiste, entre eux, néanmoins, surtout dans la région postérieure et antérieure, un espace libre très appréciable.

Aux stades de 8, 9 et 10 centimètres, les bords internes des deux centres sont seulement séparés, sur la majeure partie de leur étendue, par une mince suture fibreuse au niveau de laquelle les deux bords des os continuent à s'accroître par apposition.

Les sujets de cinq semaines, qui marquent le terme de notre série, possèdent encore une suture interfrontale fertile.

Je néglige l'étude des points secondaires classiquement décrits : point de l'épine nasale, de l'apophyse orbitaire interne et de l'apophyse orbitaire externe. Leur existence est, en effet, fugace et dès le stade de 8 centimètres ces points sont fusionnés avec le centre principal.

La façon dont se fait la croissance de l'écaille frontale au niveau du bord interne et du bord postérieur mérite d'être étudiée avec quelques détails. Elle nous a paru présenter quelques particularités intéressantes qui sont liées probablement à des conditions mécaniques spéciales développées plus loin.

Les travées osseuses nouvelles, déposées au niveau de ces bords, ne se placent pas, en effet, directement dans le prolongement des travées anciennes; il se forme une série d'écailles osseuses qui s'imbriquent à la manière des tuiles d'un toit, les plus anciennes recouvrant en partie les plus récentes (*fig. 23, fig. 24, fig. 25*).

b) PARIÉTAL. — Dans les limites de la série que j'ai observée, il ne m'a pas paru qu'il existe au niveau du pariétal du Mouton plus d'un centre d'ossification; il naît un peu plus tardivement que le centre principal du frontal; on ne peut guère le surprendre que vers le stade de 45 millimètres, alors que ce dernier os a acquis déjà un développement notable.

Formé dans la région qui correspond à la future bosse pariétale, ce centre s'étend radiairement :

En haut et en dedans, vers la ligne médiane pour rejoindre



FIG. 24. — Fœtus de Mouton de 20 centimètres. Formol à 5 pour 100. Hématéine-éosine. Gr. : 6,9 D.

Coupe sagittale para-médiane de l'écaïlle frontale passant par la partie moyenne du lobe olfactif du côté correspondant et montrant sous une autre forme le phénomène de la superposition en tuiles de toit des travées.

le pariétal du côté opposé, dont il demeure séparé par une suture sagittale au niveau de laquelle se fera, pendant toute la croissance, l'extension des bords supéro-internes des deux os.

En avant : par son bord antérieur, le pariétal ne tarde pas à rejoindre le bord postérieur de l'écaille frontale correspondante ; une suture fibreuse transversale dans la région de la voûte, infléchie en avant et en bas sur les faces latérales du crâne, assure la croissance du frontal vers l'arrière et du pariétal vers l'avant.

En bas : la poussée osseuse dans cette direction donne nais-

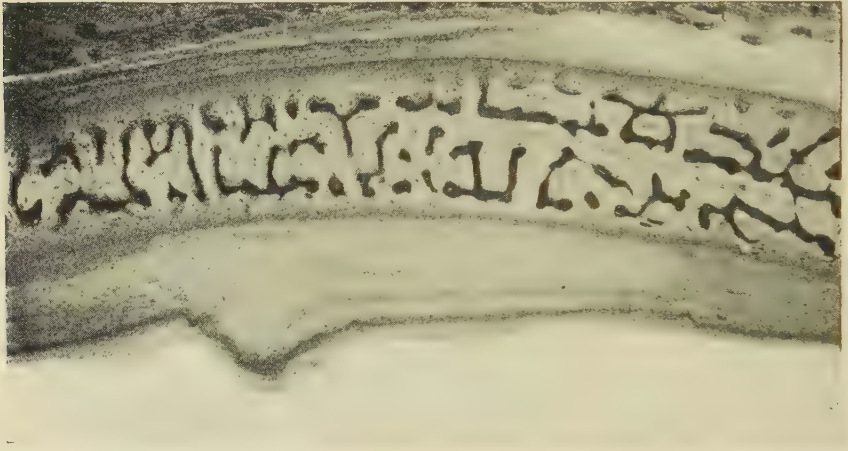


FIG. 25. — Même provenance que la figure 24. Gr. : 25 D.

Fragment de la coupe totale représentée à la figure 24, elle montre la stratification des travées à un plus fort grossissement.

sance à la portion verticale de l'os, laquelle limite directement, comme on l'a vu, la cavité cranienne, en venant doubler la face interne du squamosal et d'une partie de l'ali-sphénoïde (*fig. 17, fig. 73*).

En arrière : par son bord postérieur, le pariétal viendra se joindre sur le crâne achevé avec le bord correspondant de l'écaille occipitale, par l'intermédiaire d'une suture à direction transversale.

Sur la ligne médiane sagittale de la voûte, dans la région où

s'affrontent respectivement les deux angles antérieurs et supérieurs des pariétaux et les deux angles postérieurs et supérieurs

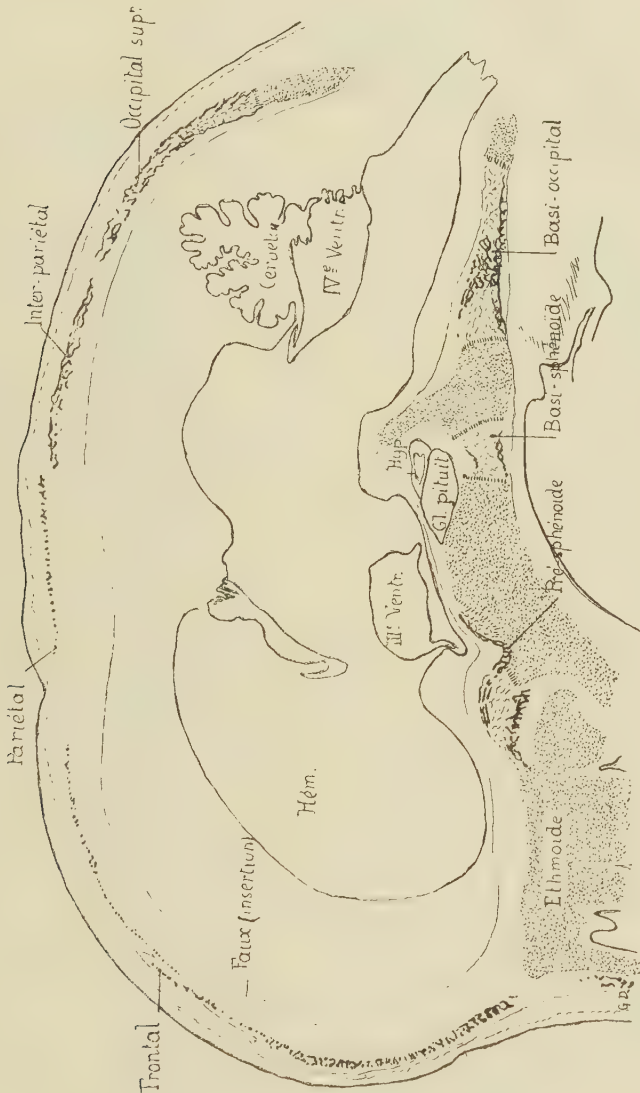


FIG. 26. — Fœtus de Mouton de 45 centimètres. Formol à 5 pour 100. Hématéine-cosine. Gr. : 4,4 D.
Dessiné par projection à l'appareil d'Euxner.
Coupe sagittale juxta-médiane du crâne. Mêmes remarques que pour la figure 22.

des frontaux, il existe un vaste espace quadrangulaire allongé occupé seulement par du tissu membraneux ; c'est la fontanelle



FIG. 27. — Fœtus de Mouton de 20 centimètres. Fœmol à 5 pour 100. Hématéine-éosine. Gr. : 4,4 D.
Dessiné par projection à l'appareil d'ENGER.
Coupe sagittale totale et un peu latérale du crâne. Mêmes remarques que pour la figure 22.

antérieure, comblée précocement par l'extension des bords osseux qui la limitent et qui, de ce fait, a pratiquement disparu en tant que fontanelle au stade de 12 centimètres.

c) L'OCCIPITAL. — Il participe à la fois à la constitution de la base, des parois latérales et de la voûte du crâne. Partout, il limite directement la cavité crânienne dans sa région postérieure. Il comprend, comme on l'a vu, une pièce basale, le basi-occipital, deux pièces latérales, les ex-occipitaux, une pièce supérieure ou dorsale, l'écaille occipitale.

Ces pièces prennent naissance par plusieurs points d'ossification dans la masse cartilagineuse du chondrocrâne, qui entoure d'une paroi continue le trou occipital et le pôle postérieur de la cavité crânienne. Il faut remarquer que l'écaille elle-même est une formation complexe comprenant deux parties : une supérieure, résultant de la fusion sur la ligne médiane de deux os, développés directement en milieu conjonctif, les interpariétaux, et une inférieure, constituée par affrontement de deux ébauches latérales, les supra-occipitaux, apparus dans le tissu cartilagineux du toit postérieur.

1° *L'Interpariétal*. — Il se constitue, vers le stade de 6 centimètres aux dépens d'un centre d'ossification unique, situé un peu en dehors de la ligne médiane, dans le tissu conjonctif de la voûte du crâne qui unit le bord antérieur du toit synotique cartilagineux au bord postérieur du pariétal en voie d'extension. Ce centre progresse dans les diverses directions et prend rapidement la forme d'un triangle, répondant par sa base au côté antérieur et supérieur du supra-occipital sous-jacent, par son côté médian à l'interpariétal opposé, et par son côté externe, à la partie juxta-médiane du bord postérieur du pariétal.

Dans leur ensemble, les deux interpariétaux ne tardent pas à se présenter sous la forme d'une plaque osseuse qui comble l'espace membraneux angulaire résultant de l'écartement du bord postérieur des deux pariétaux.

C'est que, en effet, la suture sagittale fibreuse qui sépare les deux interpariétaux s'ossifie précocement ; au stade de 26 centimètres, les deux os sont fusionnés sur la ligne médiane ; la

suture inférieure, qui réunit horizontalement l'interpariétal au supra-occipital, persiste plus longtemps ; on l'observe encore sur les sujets à la naissance ; mais sur les individus de cinq semaines, elle a complètement disparu. L'interpariétal fait partie intégrante, dès ce moment, de l'écaille occipitale définitive (*fig. 19 [17]*).

Par contre, le bord externe de l'interpariétal se comporte d'une manière différente ; dans l'écaille occipitale définitive, ce



FIG. 28. — Fœtus de Mouton de 11 cent. 5. ZENKER. Hématéine-éosine.
(Gr. : 11,2 D).

Coupe sagittale para-médiane de la voûte du crâne dans la région occipitale. Dans la lame cartilagineuse du *tectum posterius*, on note l'existence de deux points d'ossification, l'un supérieur représente l'ébauche d'un des supra-occipitaux, l'autre inférieur, répond à l'ex-occipital correspondant, près de son union avec celui du côté opposé, au-dessus du trou occipital.

bord entre dans la constitution du bord antérieur et supérieur de l'écaille, uni au bord postérieur du pariétal correspondant

par une suture fibreuse, qui persiste encore nettement sur les individus de plusieurs semaines.

2° *Supra-Occipital*. — Le supra-occipital se développe aux dépens de deux points d'ossification qui naissent dans le toit



FIG. 29. — Même provenance et même grossissement que la figure 28.

La coupe est ici plus latérale que dans la figure précédente. Dans la partie supérieure de la figure, on voit le point d'ossification du supra-occipital; dans la partie inférieure existe le point d'ossification de l'ex-occipital correspondant. Ce point est déjà bien développé. Remarquer sa triple extension en haut vers le supra-occipital, en bas et à droite vers le cartilage basilaire; en bas et à gauche dans le condyle.

synotique de part et d'autre de la ligne médiane et à une faible distance du bord supérieur libre de cette lame cartilagineuse (*fig. 28, fig. 29*).



FIG. 30. — Fœtus de Mouton de 15 centimètres. Formol à 5 pour 100. Hématéine-éosine. Gr. : 8.5 D.

Coupe sagittale juxta-médiane de la voûte dans la région occipitale. Dans la partie supérieure de la figure on voit l'interpariétal ; au-dessous le supra-occipital constitué surtout par de l'os périostique, plus bas, on aperçoit la ligne d'ossification qui progresse dans le toit synotique ; sur cette coupe, très voisine de la ligne médiane, le point d'ossification de l'ex-occipital correspondant n'est pas intéressé.

Si l'on examine le toit synotique chez de jeunes sujets (foetus de 40 millimètres), on voit qu'il présente au niveau de son bord inférieur une échancrure sagittale et médiane qui se poursuit assez haut vers le bord supérieur continu, mais sans l'atteindre toutefois. Cette fissure est comblée par du tissu conjonctif.

Plus tard, vers le stade de 12 centimètres, cette fissure se ferme dans ses parties basses; le bord inférieur du toit synotique devient continu comme le bord supérieur; mais pendant toute cette période, l'ensemble s'est accru, et il en résulte un allongement absolu de la fissure médiane.

Après que la coalescence du cartilage s'est ainsi rétablie,

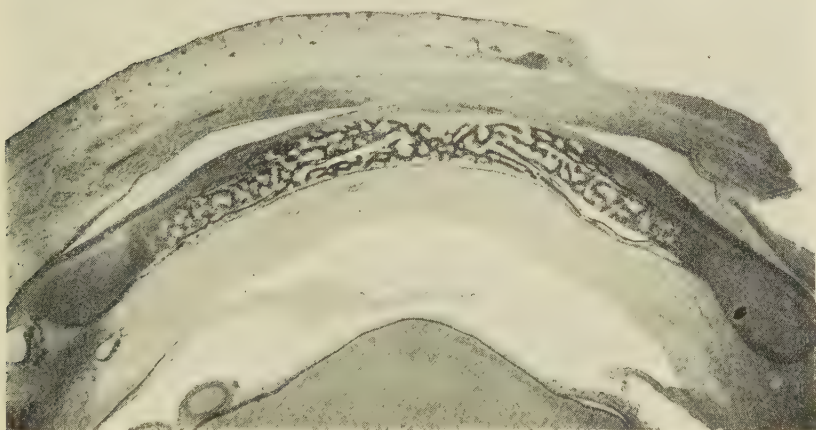


FIG. 31. — Foetus de Mouton de 45 centimètres. ZENKER. Hématéine-éosine.
Gr. : 9,5 D.

Coupe frontale et légèrement oblique en avant de la voûte du crâne dans la région occipitale. Les deux supra-occipitaux sont fusionnés sur la ligne médiane par une synostose d'os périostique, au niveau de la fissure sagittale du toit synotique. Remarquer l'extension latérale de chacun des points d'ossification dans le cartilage.

celui-ci continue à s'accroître par son bord inférieur. C'est dans cette lame cartilagineuse, dont il était nécessaire de préciser l'évolution, que les deux points d'ossification vont s'étendre excentriquement. En raison de leur situation même, on comprend que leurs progrès atteindront rapidement le bord supérieur

du cartilage ; de ce côté, la croissance ne se fera plus que par apposition d'os périostique (*fig. 30*).

Vers le bas, chaque point s'étend dans le cartilage par une ligne d'ossification et il se forme ainsi deux plaques osseuses, correspondant aux deux supra-occipitaux. Les deux ébauches ne restent pas séparées ; à mesure qu'elles s'accroissent dans les sens que nous avons indiqués, elles progressent vers la ligne médiane, au niveau de laquelle elles se fondent peu à peu en une pièce unique. Cette fusion ne se fait pas partout en même

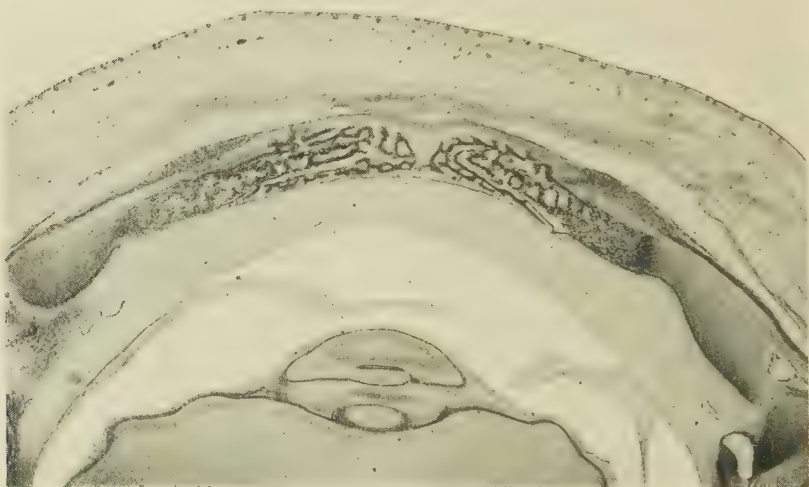


FIG. 32. — Fœtus de Mouton de 15 centimètres. ZENKER. Hématéine-éosine. Gr. : 9,5 D.

Cette coupe qui provient du même objet que celui représenté dans la figure précédente a intéressé la région occipitale un peu plus en arrière. On voit ici que les deux supra-occipitaux ne sont pas encore fusionnés sur la ligne médiane, mais unis par une suture fibreuse. Noter même à ce faible grossissement l'importance de l'os périostique et la faiblesse de l'os enchondral ; cette disposition est d'ailleurs bien visible aussi sur la figure 31.

temps ; elle apparaît dans les parties supérieures, pour gagner peu à peu vers le bas ; elle présente des caractères différents suivant les régions envisagées.

Dans les parties les plus élevées, là où le toit synotique est continu, la coalescence se fait par la fusion sur la ligne médiane

des deux points enchondraux et de leurs croûtes osseuses péri-chondrales. Plus bas, nous nous trouvons dans la région correspondant à la suture médiane fibreuse; l'union des deux ébauches se réalisera par le procédé de la synostose des deux coques d'os périostique entourant les bords sagittaux de chacune des lames d'os enchondral (*fig. 31, fig. 32*).

Dans les portions du toit où la continuité cartilagineuse s'est rétablie, la soudure des deux ébauches se fait par la confluence des deux points d'os enchondral, envahissant de part et d'autre les portions cartilagineuses de la région médiane.

La progression de l'ossification vers le bas, se faisant plus rapidement que la fusion médiane des ébauches, il en résulte que le bord inférieur du supra-occipital reste pendant longtemps échancré légèrement en son milieu. Ce n'est guère que vers le stade de 30 centimètres qu'il devient rectiligne.

3^o *Basi-occipital et ex-occipitaux*. — Dans le cartilage basal se forme le basi-occipital, grâce à l'évolution et à la croissance d'un point d'ossification médian et unique, qui s'étend dans la plaque basilaire, en avant, sur les côtés et en arrière (*fig. 22, fig. 26, fig. 27, fig. 33*). Ce point est d'apparition précoce; on peut déjà le mettre en évidence sur des fœtus de 50 millimètres.

En même temps, à la partie moyenne de la lame cartilagineuse, qui limite latéralement la cavité crânienne, dans la région occipitale, et qui joint la plaque basilaire au toit supérieur, il se forme un point d'ossification représentant l'origine de l'ex-occipital (*fig. 28*); il y a un point pour l'ex-occipital droit et un point pour l'ex-occipital gauche.

Pendant que le centre d'ossification du basi-occipital gagne vers l'arrière, chacun des centres ex-occipitaux s'étend en bas vers la plaque basilaire, et en haut vers le toit supérieur, où le supra-occipital est en train de se former (*fig. 28*). Par une extension locale postéro-externe, chaque centre de l'ex-occipital préside à l'ossification du condyle cartilagineux correspondant (*fig. 29*).

La progression du basi-occipital en arrière et latéralement, celle des ex-occipitaux vers la plaque basilaire, d'une part et

vers le toit postérieur d'autre part, vont avoir pour résultat de tendre à la fusion de ces différentes ébauches osseuses.

Cette union ne s'opère cependant que d'une façon secondaire et tardive. En effet, on voit persister localement les cartilages de conjugaison entre ces diverses pièces (*fig. 75*). Chaque ex-occipital est uni au basi-occipital par un cartilage de conjugaison (*fig. 75*) : par son extrémité opposée, il s'affronte par le même moyen avec la moitié correspondante du bord inférieur du supra-occipital (*fig. 75*) : enfin un dernier cartilage de conjugaison sagittal, branché sur le précédent, assure la liaison des deux ex-occipitaux au-dessus du trou occipital, sur la ligne médiane (*fig. 69*).

Ces cartilages de conjugaison sont fertiles par leurs deux faces et fournissent à chacun des os qu'ils unissent et séparent. A la naissance, et chez les sujets de cinq semaines, ils sont encore parfaitement marqués et en pleine activité.

On conçoit que ce dispositif joue un rôle essentiel dans l'accroissement des différents diamètres de la cavité cranienne dans cette région.

J'ajoute que, ni par la méthode des coupes, ni par la méthode de SPALTEHOLZ, je n'ai jamais pu déceler au niveau du crâne du Mouton d'ébauche correspondant à l'osselet de KERCKRINGIUS.

d) SPHÉNOÏDE. — L'ossification du sphénoïde est également fort complexe. Il y a lieu de distinguer, à cet égard, la formation du basi-sphénoïde et de l'ali-sphénoïde qui le prolonge latéralement, et celle du pré-sphénoïde avec l'orbito-sphénoïde qui en dépend.

Je néglige l'étude de l'ossification des apophyses ptérygoïdes, car elles ne participent pas à la limitation de la cavité cranienne.

1° *Basi-sphénoïde*. — Il faut s'adresser à des sujets jeunes, pour retrouver dans l'ossification du complexe postérieur les dispositions classiquement décrites. Dès le stade de 10 centimètres, en effet, beaucoup de points primitivement isolés sont plus ou moins complètement fusionnés. L'observation à cet égard de fœtus de 50, 60, 70, 75, 80, 90, 100 et 115 millimètres m'a permis de constater les faits suivants :

Le basi-sphénoïde se développe aux dépens d'un point d'ossification qui naît dans le fond de la fosse hypophysaire. On dit classiquement que ce point est primitivement double et latéral. Je crois qu'il en est ainsi, en effet; mais, chez le Mouton, cette duplicité initiale est difficile à saisir. Absent au stade de 60 millimètres, le point en question est bien visible à 70 millimètres et il m'a paru, dès cette époque, fusionné, au moins en partie, avec celui du côté opposé.

Dans le cartilage de l'aile temporale, il se forme un point

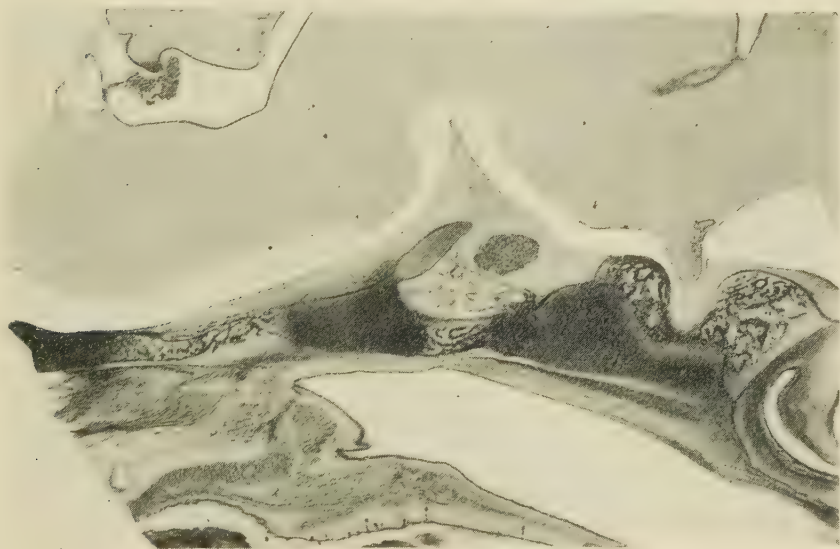


FIG. 33. — Fœtus de Mouton de 11 centimètres. 5 ZENKER. Hématéine-éosine.
Gr. : 7,5 D.

Coupe sagittale juxta-médiane de la base du crâne. On reconnaît dans la région moyenne de celle-ci : la fosse hypophysaire avec la glande pituitaire, à l'extrémité droite de la figure, la capsule nasale, à l'extrémité gauche, le bord libre postérieur du cartilage basilaire. Dans la base du crâne, on reconnaît, en allant de gauche à droite, le point d'ossification du basi-occipital, le point d'ossification du basi-sphénoïde, le point d'ossification du pré-sphénoïde et celui de l'orbito-sphénoïde; ces deux points sont en voie de fusion, dans le fond de la gouttière optique.

d'ossification, dont le développement aboutira à la formation de l'ali-sphénoïde (*fig. 34*). Ce point, apparu précocement, est destiné à se réunir avec le côté correspondant du point basi-sphénoïdal.

La façon dont se fait cette coalescence varie probablement suivant les espèces. On décrit chez l'Homme la présence d'un point d'ossification isolé dans le point de la gouttière caverneuse : c'est par lui que se fait la liaison entre l'ébauche du basi-sphénoïde et celle de l'ali-sphénoïde. En est-il de même chez le Mouton ? Je ne saurais, faute d'avoir observé un assez grand nombre de sujets, me prononcer d'une façon certaine. Mais, en tous cas, si ce point existe dans cette espèce, il doit être très fugace. Certainement absent chez les fœtus de 7 centimètres et

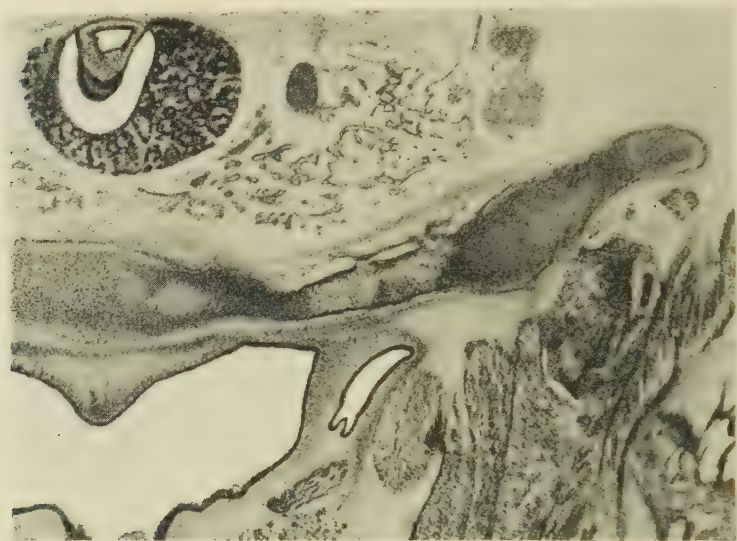


FIG. 34. — Fœtus de Mouton de 7 cent. 5. Formol à 5 pour 100. Hématéine-éosine. Gr. : 11 D.

Coupe frontale un peu oblique, de la base du crâne passant en avant du trou ovale.

Au-dessous de l'hypophyse, on reconnaît le cartilage de la base se prolongeant latéralement et vers la droite par l'aile temporale cartilagineuse. On peut voir deux points d'ossification encore très jeunes et reconnaissables sous forme de deux plages claires au niveau desquelles le cartilage est en train de subir les modifications pré-ossificatrices. L'un des points est situé en pleine aile temporale cartilagineuse (point de l'ali-sphénoïde), l'autre règne dans le cartilage basal, c'est le point du basi-sphénoïde, du côté considéré.

de 8 centimètres, où l'ali-sphénoïde est encore bien séparé du basi-sphénoïde, il n'existe pas davantage au stade de 11 cent. 5, où ces deux parties osseuses sont nettement fusionnées (*fig. 35*).

Dans la région de l'ali-sphénoïde, le modèle cartilagineux est de bonne heure complètement transformé en os enchondral qui disparaît rapidement; celui-ci n'occupe donc jamais qu'un volume très réduit par rapport aux dimensions de l'os définitif; dans cette région, l'extension et l'accroissement se font de bonne heure par simple apposition d'os périostique (*fig. 35*).

Vers l'arrière, l'os enchondral s'étend dans le cartilage basal du chondrocrâne et progresse vers l'extrémité antérieure du

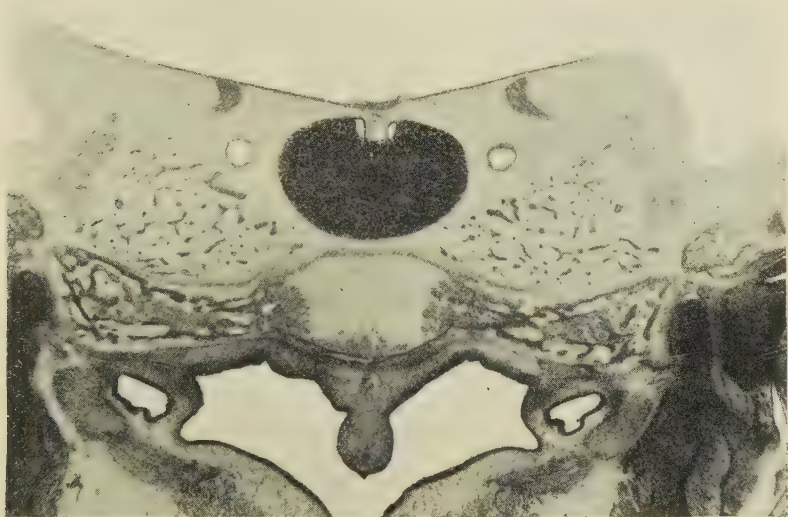


FIG. 35. — Fœtus de Mouton de 41 cent. 5. Formol à 5 pour 100. Hématéine-éosine. Gr. : 44 D.

Coupe vertico-frontale de la base du crâne passant par la partie moyenne de la fosse hypophysaire et par les deux trous ovales. On voit, par comparaison avec la figure précédente, que les points des ali-sphénoïdes sont fusionnés avec chacun des points correspondants du basi-sphénoïde. Ces derniers sont eux-mêmes en voie de fusion sur la ligne médiane, à la face profonde du cartilage basal.

basi-occipital qui pousse en sens inverse. Entre les deux ébauches osseuses, le cartilage s'organise en cartilage de conjugaison à croissance bipolaire. Cette disposition persiste longtemps après la naissance et intervient puissamment dans l'accroissement des deux os en question et dans l'allongement du diamètre antéro-postérieur du crâne (*fig. 36*).

Vers l'avant, le modèle enchondral du basi-sphénoïde se

comporte d'une façon analogue vis-à-vis du corps du pré-sphénoïde.

2° *Pré-sphénoïde*. — Le complexe antérieur se constitue aux dépens de deux centres d'ossification qui apparaissent presque simultanément et qu'on voit avec la plus grande netteté dès les stades de 6 à 7 centimètres.

Le premier et le plus ancien naît dans la région de la racine de l'aile orbitaire cartilagineuse, en avant et en dehors du trou



FIG. 36. — Fœtus de Mouton de 11 cent. 5. ZENKER. Hématéine-éosine. Gr. : 11,2 D.

Coupe sagittale juxta-médiane de la base du crâne dans la région de la fosse hypophysaire. On voit le basi-sphénoïde représenté par une tige d'os enchondral, renforcé sur ses deux faces par une enveloppe d'os périostique, particulièrement bien développée du côté de la cavité crânienne. Remarquer aussi l'extension du basi-sphénoïde par une double ligne d'érosion, vers le pré-sphénoïde d'une part, vers le basi-occipital d'autre part.

Cette figure représente à un plus fort grossissement un fragment de la coupe reproduite à la figure 33.

optique (*fig. 33*). Ce point d'ossification s'étend et il préside à la formation de l'orbito-sphénoïde et à son extension progressive vers les parties latérales de la paroi crânienne. C'est ainsi que se développe la petite aile du sphénoïde dont l'extrémité libre cartilagineuse s'appuie d'abord sur la face interne du frontal en

arrière de l'apophyse orbitaire interne, puis s'engage dans la mortaise creusée par l'érosion à ce niveau (*fig. 37, fig. 38*).

L'ossification de l'extrémité libre de l'orbito-sphénoïde n'est pas encore terminée à la cinquième semaine après la naissance (*fig. 16 [3']*).

Je ferai remarquer, encore une fois, le faible développement de l'os enchondral dans l'ossification de l'orbito-sphénoïde. A peine indiqué, disparaissant précocement, presque au fur et à mesure de sa formation, il semble n'avoir d'autre but que

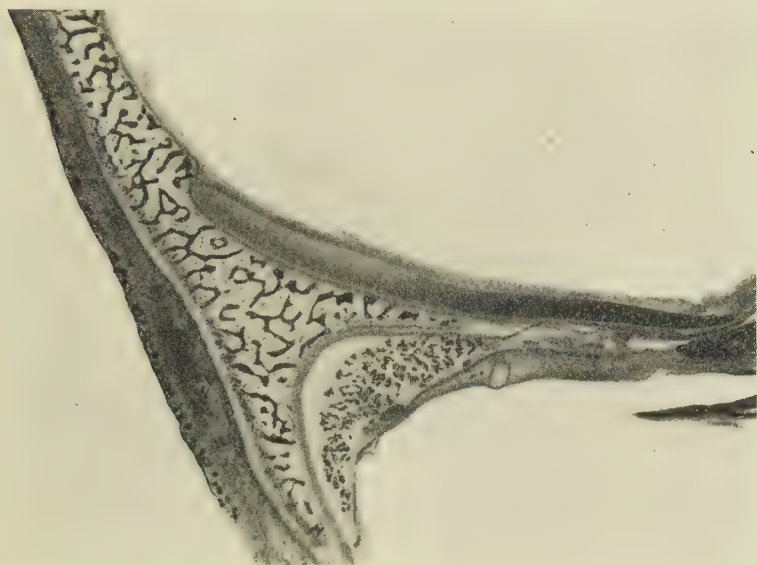


FIG. 37. — Fœtus de Mouton de 20 centimètres. Formol à 5 pour 100. Hématéine-éosine. Gr. : 9,5 D.

Coupe vertico-frontale de la base du crâne suivant un plan passant par la partie moyenne de l'orbite. L'os frontal (à gauche) a été intéressé dans la région de l'apophyse orbitaire externe ; à sa face endocranienne, il présente une dépression dans laquelle vient s'appuyer l'extrémité cartilagineuse libre de l'orbito-sphénoïde.

d'assurer la disparition du cartilage. Ici, encore, c'est surtout par ossification périostique que se constitue la pièce définitive (*fig. 38, fig. 39*).

L'autre centre d'ossification, apparu un peu plus tardivement, mais qui est net sur les embryons de 75 millimètres, se place



FIG. 38. — Fœtus de Mouton de 50 centimètres. Formol à 5 pour 100. Hématéine-éosine. Gr. : 10 D.
Coupe vertico-frontale de la base du crâne suivant un plan passant par la partie moyenne de l'orbite. Ce fragment est destiné à montrer l'extrémité encore cartilagineuse de l'orbite sphénoïde s'engageant dans une mortaise osseuse de la face interne du frontal.

en arrière et en dehors du trou optique (*fig. 33*). Ce point d'ossification progresse en dehors et ne tarde pas à se fondre avec celui de l'orbito-sphénoïde. Dès le stade de 9 centimètres, cette fusion est réalisée. Par extension vers la ligne médiane, les deux points du pré-sphénoïde se fusionnent à leur tour; cette confluence se fait de l'avant vers l'arrière (*fig. 41*); incomplète sur les fœtus de 17 et 18 centimètres, elle est entièrement réalisée sur ceux de 20 centimètres.

En arrière, l'ébauche du pré-sphénoïde progresse par extension

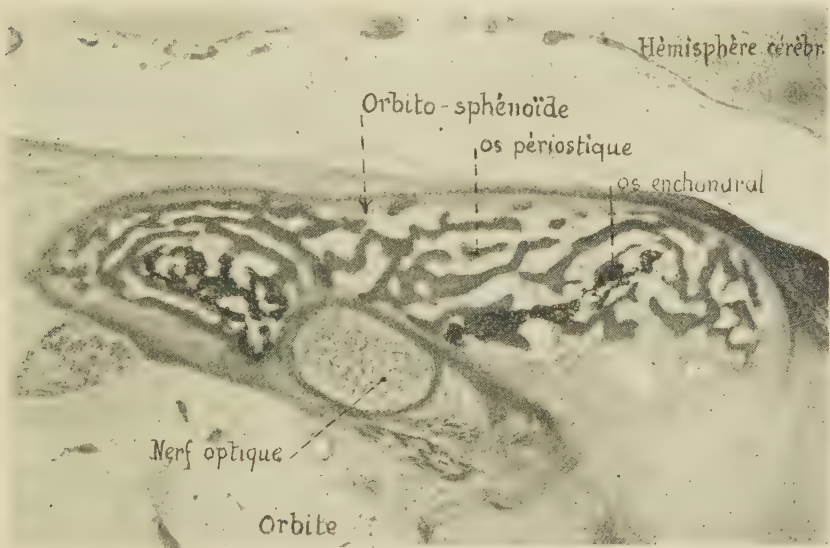


FIG. 39. — Fœtus de Mouton de 11 cent. 5. ZENKER. Hématéine-éosine. Gr. : 11,2 D.
Coupe sagittale*et latérale de la base du crâne, intéressant l'orbito-sphénoïde en dehors de sa racine. On voit l'importance de l'os périostique et la réduction très marquée de l'os enchondral.

de l'os enchondral dans le cartilage, vers l'extrémité antérieure du basi-sphénoïde. Entre les deux pièces, le cartilage se différencie en cartilage de conjugaison à croissance bipolaire, encore actif longtemps après la naissance (*fig. 22, fig. 26, fig. 27, fig. 33*).

En avant, le pré-sphénoïde se prolonge sous forme d'une lame osseuse sagittale, résultant de l'extension du processus d'ossification dans le septum nasal cartilagineux, pour donner naissance

à l'apophyse *crista galli* et à la lame perpendiculaire de l'ethmoïde.

e) CAPSULE NASALE. — L'ossification de la capsule nasale n'a été envisagée qu'en ce qui concerne la lame criblée de l'ethmoïde. Cette ossification est des plus tardives. Elle est à peine indiquée au moment de la naissance et chez les sujets de cinq semaines, elle ne s'étend pas au delà d'une plage de quelques millimètres de large, de part et d'autre de la lame perpendiculaire de l'ethmoïde. Sa destinée ultérieure dépasse le cadre de notre étude.

f) CAPSULE AUDITIVE. — Nous nous sommes abstenu volontairement de traiter de l'ossification de la capsule auditive. Cette formation, en effet, évolue et s'accroît pour son propre compte par un processus d'ailleurs fort complexe; elle ne contracte avec les os qui nous intéressent que des liaisons très faibles et ne paraît jouer qu'un rôle passif, pour ainsi dire, dans les phénomènes d'accroissement de la cavité crânienne.

g) MARCHE GÉNÉRALE DES PHÉNOMÈNES D'OSSIFICATION DES OS DU CRÂNE :

1° *Os précédés d'un modèle cartilagineux.* — Il résulte de ce que nous venons de voir que les os du crâne précédés d'un modèle cartilagineux utilisent, dans leur formation et dans leur croissance, les mêmes processus histologiques que les os longs des membres ou les os plats des ceintures; l'accroissement se fait par un mécanisme rigoureusement appositionnel.

Cependant il faut signaler ici, bien qu'elles ne soient pas de nature à modifier cette loi générale, quelques particularités.

Deux faits principaux doivent être retenus :

Les différentes pièces osseuses du crâne, développées dans le cartilage, ne peuvent pas être décomposées en diaphyses et en épiphyses, aussi les cartilages de conjugaison qui les unissent et les séparent n'ont pas la signification de cartilages diaphyso-épiphysaires. Ils se comportent, quant à leur structure et quant à leur rôle, d'une façon spéciale.

Dans les os longs les cartilages de conjugaison dépendent de la diaphyse; ils sont fertiles par leur face diaphysaire seulement; la face opposée est stérile, et se trouve séparée, par une semelle

osseuse, du modèle épiphysaire qui s'accroît et se développe pour son propre compte et par ses propres moyens.

Au niveau des os du crâne, les cartilages de conjugaison sont fertiles sur leurs deux faces et fournissent par chaque bout à l'un des deux segments osseux entre lesquels ils sont interposés.

En second lieu, dans les pièces craniennes, l'os enchondral est très discret et n'atteint jamais le beau développement qu'on lui voit dans les diaphyses. Cette réduction est particulièrement appréciable au niveau des parties aplaties en lames, telles que l'ali-sphénoïde, l'orbito-sphénoïde (*fig. 39 et fig. 40*), le supra-

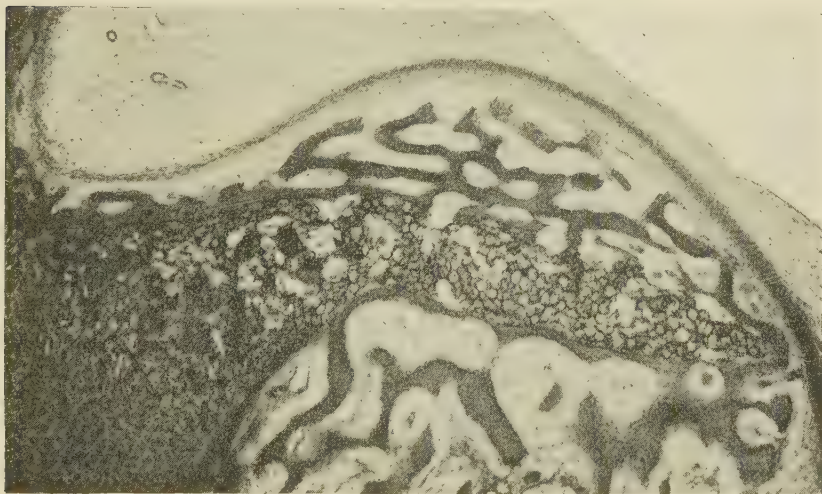


FIG. 40. — Même provenance que la figure 39. Gr. : 40 D.
Vue à plus fort grossissement et dans un autre point de l'orbito-sphénoïde.
la puissance de l'os périostique et le faible développement de l'os enchondral.

occipital (*fig. 30, fig. 31, fig. 32*). Dans certains endroits, comme dans l'orbito-sphénoïde (*fig. 39*), par exemple, l'os enchondral est non seulement très peu développé, mais encore il n'arrive à sa structure typique que par endroits. Presque partout, le cartilage ne se calcifie que pour disparaître sans passer par le stade d'os enchondral et évolue, en somme, comme dans les points où apparaît le point primaire d'ossification dans une diaphyse. Le cartilage calcifié fond et disparaît sous les couches d'os

périostique qui se développent vigoureusement autour du modèle cartilagineux. Il y a là un processus qui, sans se confondre avec lui, se rapproche de celui qu'on observe dans la formation des os juxta-cartilagineux dont le type est le maxillaire inférieur.

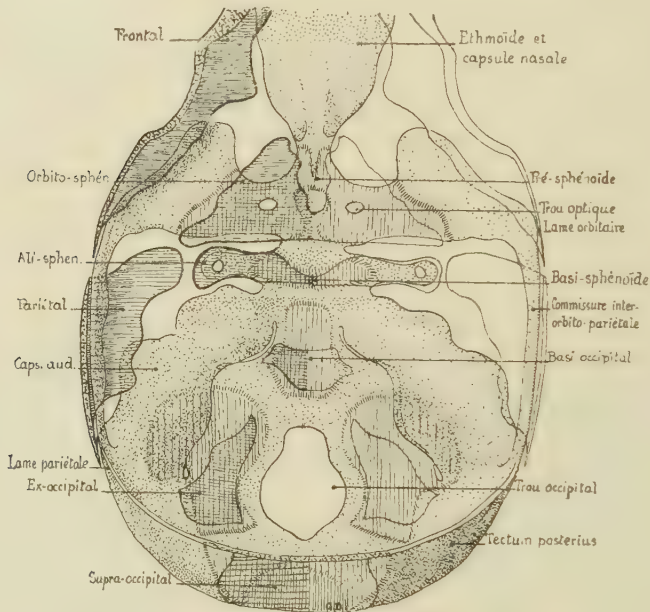


FIG. 41. — Fœtus de Mouton de 10 centimètres. Formol à 5 pour 100. Hématéine-éosine. Gr. : 10 D.

Reconstruction graphique de la base du crâne par projection plane à l'appareil d'EDINGER de coupes sériées. — La calotte cranienne a été détachée par une section horizontale passant au-dessus du bord supérieur de la commissure interorbito-pariétale. — Pointillé : cartilages. — Hachures verticales : os enchondral. — Hachures horizontales : os périostique ou de membrane. — Dans la moitié droite, l'os périostique est représenté par ses contours sans hachures.

2° *Os développés directement dans le tissu conjonctif.* — Quand nous avons étudié les phénomènes généraux du développement du tissu osseux dans la voûte membraneuse du crâne, nous avons vu que l'accroissement en surface des pièces, ainsi constituées, se fait par apposition osseuse au niveau des bords dans le tissu fibreux des sutures et des fontanelles.

L'observation histologique ne permet aucun doute sur ce point

et elle ne nous a révélé, au niveau des diverses sutures, aucun phénomène spécial qui ne soit parfaitement connu.

On se rend compte, en effet, avec la plus grande facilité, de la formation, à ce niveau, d'aiguilles osseuses nouvelles, d'abord isolées et indépendantes, raccordées ensuite en travées anastomotiques plus épaisses qui prolongent les bords osseux séparés par le tissu fibreux de la suture. Il n'y a là, en somme, rien autre chose que la persistance de l'extension circonférentielle des points d'ossification dans les parties de la voûte demeurées fibreuses.

Quel que soit le degré de rapprochement des os au niveau des sutures, celles-ci persistent pendant toute la période de la croissance, sous forme d'une lame de tissu conjonctif condensé où le processus d'ossification continue. Les bords osseux, dentelés plus ou moins profondément, s'entre-croisent et se pénètrent réciproquement et il en résulte, suivant la comparaison classique, un entrelacement analogue à celui qu'on obtiendrait en faisant pénétrer les doigts d'une main dans les espaces interdigitaux de l'autre.

Il arrive un moment où l'ossification envahit la totalité de la membrane fibreuse ; les bords opposés des os sont soudés et la croissance est arrêtée à ce niveau. C'est la synostose physiologique. Il va sans dire qu'à la naissance les sutures des os du crâne du Mouton sont encore fibreuses et parfaitement fertiles ; aussi ne nous sommes-nous pas préoccupé de l'étude histologique du phénomène de la synostose.

Nous avons dit antérieurement que la croissance en épaisseur des pièces de la voûte se fait par apposition d'os nouveau, soit sur la face externe, soit sur la face interne des travées osseuses déjà formées. L'apposition externe, résultant de l'activité de la couche ostéogène du périoste cranien, est de beaucoup la plus active et la plus étendue ; c'est la véritable face d'épaississement pour la plupart des os.

Au niveau de la face interne, l'apposition est moins fréquemment observée ; elle ne s'observe guère que dans des régions limitées.

L'étude de ces faits ne présente rien de spécial au point de vue histologique ; c'est surtout leur répartition topographique qui est intéressante ; et comme ils se combinent avec des processus d'érosion, très importants par leurs conséquences générales, nous avons pensé qu'il y avait avantage à réunir dans une description commune l'étude de la distribution de ces deux espèces de phénomènes au niveau des os de la voûte.

D) Les phénomènes d'érosion :

1° LES PHÉNOMÈNES D'ÉROSION EN GÉNÉRAL. — L'importance des phénomènes d'érosion combinée à l'apposition osseuse, dans les os du crâne en voie d'accroissement, a été mise en lumière par les travaux de VIRCHOW et surtout par les belles recherches de KÖLLIKER que nous avons résumées plus haut.

Les investigations de cet auteur ont principalement porté sur des animaux après la naissance, en voie de croissance par conséquent ; mais nous avons déjà attiré l'attention sur le fait qu'elles n'ont pas été conduites d'une façon systématique aux divers stades de l'évolution ; c'est exceptionnellement que KÖLLIKER a été amené à comparer, à ce point de vue, des crânes de sujets d'âge différent. Nous avons pensé, personnellement, que cette lacune méritait d'être comblée. L'étude de l'évolution des phénomènes d'érosion, envisagés dans leur répartition et dans leur importance, pendant la vie fœtale, où l'accroissement est considérable et rapide, nous a paru susceptible de donner des résultats intéressants pour l'appréciation du rôle des divers facteurs qui président à l'augmentation du volume de la boîte crânienne.

Ces phénomènes doivent, à ce point de vue, être étudiés successivement au niveau des os de la voûte et au niveau des os de la base. Dans l'un et l'autre cas, nous porterons surtout notre attention sur les surfaces d'érosion qui, par la précocité de leur apparition, leur constance et leur étendue, paraissent jouer un rôle primordial dans les changements de la forme générale des os eux-mêmes ainsi que dans l'accroissement des divers diamètres de la cavité crânienne.

Nous ne parlerons donc qu'accessoirement des surfaces d'éro-

sion localisées, qui ont des effets limités, comme par exemple le creusement, à la surface interne des os de la voûte, des dépressions destinées au logement des circonvolutions cérébrales. C'est aussi par des phénomènes locaux d'érosion que s'agrandissent les trous et les canaux que l'on rencontre dans diverses régions de la paroi crânienne et particulièrement au niveau de la base.

A titre d'exemple, nous donnons ici une figure concernant le mode d'accroissement du trou optique chez un fœtus de Mouton

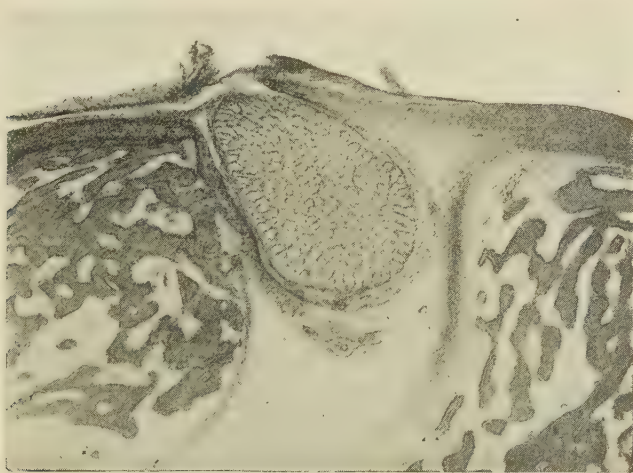


FIG. 42. — Fœtus de Mouton de 20 centimètres. Formol à 5 pour 100. Hématéine-éosine. Gr. : 29 D.

Coupe sagittale passant par le trou optique.

On reconnaît le nerf optique coupé un peu obliquement et engagé dans le trou optique ; à gauche, la paroi postérieure et externe du trou optique ; à droite, sa paroi antérieure et interne. Au niveau de la première, forte érosion par les ostéoclastes dont quelques-uns seulement sont devinés à ce grossissement ; sur l'autre paroi, apposition osseuse.

de 20 centimètres (*fig. 42*). Bien que le grossissement utilisé soit faible, on peut, néanmoins, se rendre compte, par la forme générale des travées osseuses, de l'existence d'une érosion intense sur le bord postéro-externe de cet orifice, coïncidant avec une vigoureuse apposition d'os nouveau sur le côté opposé.

2° TOPOGRAPHIE DES PHÉNOMÈNES D'ÉROSION :

Les faits que nous allons exposer résultent de l'observation de

coupes en série qui ont porté plus particulièrement sur des sujets de 45, 75, 100, 200, 300, 450 et 500 millimètres. Cette dernière dimension correspondant à des individus à terme ou très près du terme.

a) *Frontal* (fig. 43). — L'écaille du frontal, qui participe directement, avec sa volumineuse apophyse orbitaire interne, à la limitation de la cavité cranienne, présente, à sa face interne, une vaste surface d'érosion. Cette surface s'étend, dans le sens antéro-postérieur, depuis le bord antérieur de l'écaille qui surplombe le toit de la capsule nasale jusqu'à une ligne transversale irrégulière répondant à peu près à l'union du tiers antérieur de l'os avec ses deux tiers postérieurs. Dans le sens transversal, cette zone part du voisinage de la suture interfrontale, se poursuit sur toute la portion horizontale de l'os et se prolonge même, par une digitation irrégulière, sur la partie antérieure de la face interne de l'apophyse orbitaire interne (1).

Rapportée à l'encéphale, cette zone de résorption répond à la saillie convexe, surtout en avant, du pôle antérieur des hémisphères cérébraux.

Elle est d'apparition précoce et, dès le stade de 10 centimètres, elle se révèle avec sa topographie générale définitive. L'activité de l'érosion est maxima de part et d'autre de la ligne médiane dans la portion antérieure et inférieure de l'écaille; à mesure qu'on s'éloigne de cette région, pour se porter soit en arrière, soit latéralement, on observe une diminution progressive du nombre des ostéoclastes responsables du phénomène.

Avec les progrès du développement, cette plage s'accroît absolument; elle occupe une surface plus vaste au stade de 30 centimètres par exemple qu'au stade de 10 centimètres; mais relativement à l'augmentation de la surface de l'os, sa topographie et son étendue demeurent sensiblement constantes. L'apposition osseuse se fait surtout au niveau de la face externe de

(1) Je me borne à rappeler, qu'au niveau de la face interne du frontal, en arrière de cette apophyse, il existe une surface locale d'érosion, grâce à laquelle se creuse progressivement la mortaise osseuse où s'engage l'extrémité externe cartilagineuse de l'orbito-sphénoïde (fig. 37 et fig. 38).

l'écaïlle; cependant en certains endroits, par exemple dans la région de la racine de l'apophyse orbitaire interne, l'épaississement se fait aussi par adjonction de travées osseuses nouvelles à la face endocranienne de l'os.

Une pareille zone d'apposition interne s'observe également un peu en arrière de la région où l'écaïlle, d'horizontale qu'elle était, tend à devenir verticale et où l'os va décrire sa courbure la plus accentuée. En regard de cette zone d'apposition interne, répond, sur la face externe, une plage où l'os présente des traces indiscutables d'une érosion modérée et peu étendue.

En somme, au niveau de l'écaïlle frontale, on observe de l'érosion interne combinée avec de l'apposition externe dans la région antérieure; et au sommet de la courbe décrite par l'os, une plage d'apposition interne combinée avec de l'érosion externe.

De ces dispositions topographiques, qui nous ont paru constantes aux divers stades examinés, résultent des conséquences mécaniques qui seront développées plus tard. Mais, d'ores et déjà, on peut concevoir : 1° que l'érosion interne interviendra, pour une part notable, dans l'accroissement de la cavité cranienne, au niveau de son pôle antérieur; 2° que l'existence d'une zone d'érosion



FIG. 43. — Fœtus de Moulon de 11 cent. 5. Hématéine-éosine. Gr. : 5 D.

Coupe sagittale para-médiane de la voûte du crâne dans la région frontale. Remarquer la topographie des phénomènes d'érosion indiqués par des flèches correspondant à l'emplacement réel des ostéoclastes. Il existe une zone d'érosion interne dans la partie antérieure et inférieure du frontal (18 ostéoclastes sur une longueur de 3 millim. 3 environ) et une zone d'érosion externe à la partie moyenne de l'écaïlle (3 ostéoclastes sur une longueur de moins de 1 millimètre.)

externe aura pour effet de contribuer à la décourbure harmonique de l'écaille frontale, en abattant lentement les parties d'os ancien de convexité trop grande pour la nouvelle courbure de la face exocranienne de la pièce osseuse; 3^e que dans l'ensemble se réalise un processus de décourbure avec économie de substance, l'os nouveau utilisant dans sa constitution tout ce qui peut être conservé de l'os précédent.

b) Pariétal (fig. 44, 45, fig. 46, fig. 47). — Le même processus est réalisé au niveau du pariétal, au moins à certaines périodes du développement. Au stade de 15 centimètres, le pariétal, apparu sur les faces latérales du crâne, est une lame osseuse encore mince, doublée sur une partie notable de sa face interne par les cartilages de la lame pariétale et de la commissure orbito-pariétale. Jusqu'à ce moment, l'os ne présente guère que des phénomènes d'apposition osseuse, grâce auxquels il s'étend en surface par ses différents bords, en même temps qu'il s'épaissit par ses deux faces.

Sur les fœtus de 18 centimètres et de 20 centimètres on constate la disparition de la lame pariétale et de la commissure orbito-pariétale cartilagineuses et on note l'existence d'importants phénomènes de remaniement, qui persistent sans modifications notables jusqu'au stade de 50 centimètres au moins.

Pendant toute cette période, on voit, à la face interne de la portion verticale du pariétal, une vaste surface d'érosion (*fig. 45*). Dans la portion horizontale située dans la région de la voûte proprement dite, la face interne ne présente pas de phénomènes très spéciaux; ce qui domine, c'est l'épaississement simple des travées osseuses déjà existantes.

A la face externe, la portion verticale est le siège d'une apposition osseuse importante, tandis que dans la partie horizontale on ne remarque guère que des phénomènes d'épaississement des travées et de condensation de l'os déjà formé.

De plus, durant tout ce temps, il existe à la face externe du pariétal, dans la région qui correspond sensiblement à l'union de ses deux portions, une plage d'érosion osseuse, limitée, mais parfaitement appréciable, à laquelle répond, sur la face interne, une petite plage d'apposition d'os nouveau (*fig. 47*).



FIG. 44. — Fœtus de Mouton de 18 centimètres. Formol à 5 pour 100. Hématéine-éosine. Gr. : 6,8 D.

Coupe vertico-frontale du crâne passant par le tiers antérieur de l'écaille pariétale. (Voir fig. 45 pour l'explication.)

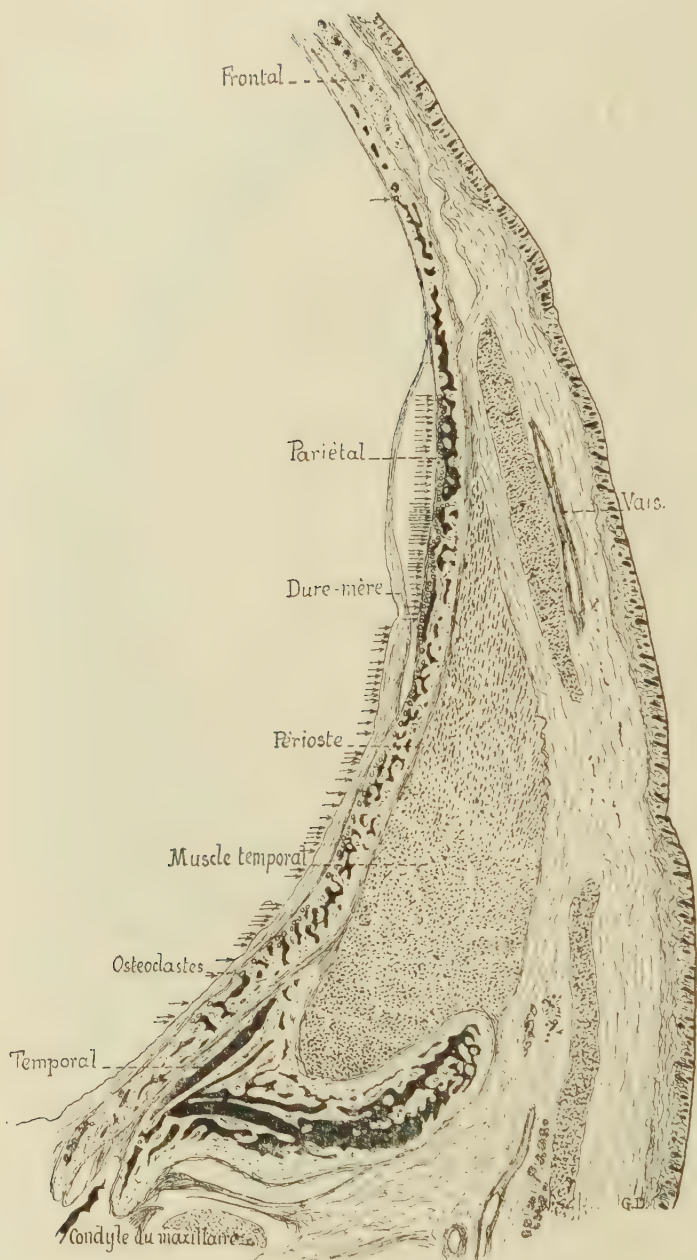


FIG. 43. — Même objet que dans la figure 44. Gr. : 10,5 D.

Les ostéoclastes employés à la résorption de la face interne du pariétal ont été repérés; leur place est indiquée par des cercles, les flèches sont destinées à faciliter l'examen de la répartition topographique de ces cellules. On compte 87 ostéoclastes sur une longueur de 1 centimètre environ.



FIG. 46. — Fœtus de Mouton de 30 centimètres. Formol à 5 pour 100. Hématoxyline-éosine. Gr. : 7 D.

Voir pour les indications la figure 47 qui concerne le même objet dessiné à un grossissement plus fort.



FIG. 47. — Même objet que dans la figure 46. Gr. : 10,5 D.

Coupe vertico-frontale du pariétal intéressant le crâne suivant un plan passant par la racine de l'arcade zygomatique. Les deux parties de la figure s'ajoutent bout à bout suivant la ligne *aa*. Zone de résorption interne dans la partie latérale et inférieure du pariétal. Les ostéoclastes sont indiqués, à leur place, par de petits cercles et désignés par des flèches. On en compte 36 sur une longueur de 8 millimètres environ. Dans la partie gauche de la figure on a représenté de la même façon une zone d'érosion externe, répondant à la partie moyenne de l'écaille à peu près (11 ostéoclastes sur une longueur de 2 millim. 5 environ). En regard de cette zone d'érosion externe, remarquer une plage d'apposition interne, reconnaissable à ses travées fines et délicates, au-dessous de l'os ancien, très dense.

L'identité de cette topographie de l'érosion et de l'apposition osseuse, avec celle que nous avons décrite pour le frontal, permet une interprétation semblable; nous y voyons encore, ici, la manifestation d'un processus économique de decourbure de l'os.

Dans la suite, aux stades de 45, 50 centimètres, l'aspect se modifie quelque peu. La portion verticale reste dans son ensemble le théâtre d'une apposition externe, combinée à l'érosion interne; mais, dans la portion horizontale, les dispositions ont varié. Dans toute cette région on rencontre, à la face interne, des plages limitées d'érosion osseuse séparées par des zones où l'os s'épaissit sur sa face endocranienne par le dépôt de travées osseuses nouvelles. Ces plages d'érosion répondent à n'en point douter aux saillies des circonvolutions cérébrales; leur rôle

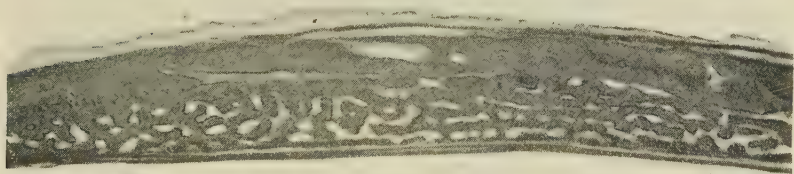


FIG. 48. — Même provenance que les figures 46 et 47. Gr. : 11,5 D.

C'est un fragment de l'objet représenté à un plus fort grossissement dans les figures 46 et 47. Cette région répond à la partie moyenne de l'os et la préparation est destinée à montrer l'aspect microphotographique de l'apposition d'os nouveau à la face interne de l'os ancien reconnaissable à sa densité.

dans l'accroissement de la cavité crânienne est évident; mais il s'agit ici d'un phénomène purement local, tout à fait différent, par ses résultats, de l'érosion étendue et persistante observée sur la même face, dans la portion verticale de l'os.

A la face externe, on ne voit plus trace d'érosion, même limitée; si elle existe, elle doit être faible et par conséquent des plus difficiles à mettre en évidence. Mais il est intéressant de noter que dans la région où se fait la courbure la plus accen-

tuée de l'os et au niveau de laquelle on trouvait, dans la période précédente, une surface limitée d'érosion, il existe maintenant une plage silencieuse où la formation d'os nouveau est arrêtée. A ce niveau la croissance en épaisseur doit être très faible sur cette face et ne résulte que de l'épaississement des travées déjà existantes.

Cet arrêt de l'accroissement ou, en tout cas, sa diminution très forte, combinée à l'érosion interne de la portion inférieure, aboutit ici encore à la décourbure générale de l'os pendant cette période du développement.

c) *Interpariétal* (fig. 49). — L'interpariétal, vu sur des crânes de sujets de cinq semaines, est déjà entré dans le complexe

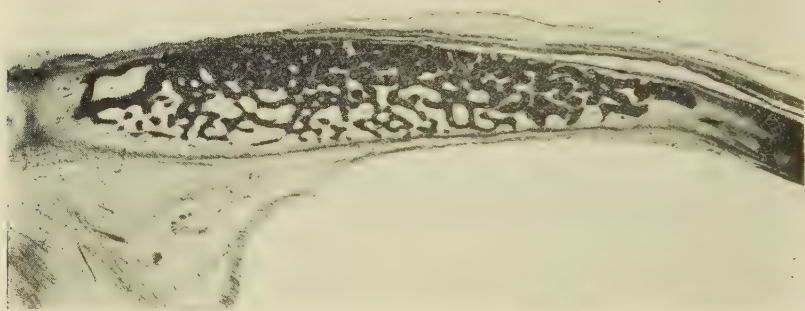


FIG. 49. — Fœtus de Mouton de 30 centimètres. Formol à 5 pour 100. Hématéine-éosine. Gr. : 11,5 D.

Coupe vertico-frontale de la voûte (fragment) passant par la partie moyenne de l'interpariétal. L'os s'épaissit grâce à une forte apposition interne. L'examen de cette préparation à un fort grossissement indique, à la face exocranienne de l'os (face supérieure dans la figure) une forte érosion par les ostéoclastes.

occipital, par fusion avec l'interpariétal du côté opposé et avec le bord supérieur du supra-occipital. Aucune trace de soudure ne permet à l'examen macroscopique de reconnaître la complexité de l'écaille occipitale à ce niveau.

L'interpariétal se montre rapidement dès le stade de 11 cent. 5, comme un os très épais, presque vertical. La topographie des phénomènes d'apposition et d'érosion osseuse y est très différente de ce que nous avons pu observer jusqu'ici.

Pendant les premiers stades, jusqu'à celui de 20 centimètres inclusivement, l'os s'épaissit, grâce à une intense apposition interne, tandis que la face externe reste à peu près complètement silencieuse. L'épaississement prédomine de beaucoup au niveau des parties moyennes de l'os qui sont les plus anciennes.

Plus tard, sur des fœtus de 20, 30, 45 et 50 centimètres, la face externe de l'interpariétal subit une érosion des plus marquées, tandis que l'apposition interne continue.

L'observation de crânes de sujets adultes montre, cependant, que la face interne de la paroi crânienne est nettement excavée dans la région qui répond précisément à l'interpariétal. Cette disposition paraît résulter de l'extension sur cet os de la dépression creusée à la face profonde du supra-occipital par la saillie cérébelleuse. Cette extension se fait, très probablement, par érosion de la face interne de l'interpariétal, mais elle est certainement tardive, et l'étude des stades auxquels nous nous sommes limité n'a pas permis de déceler le phénomène.

d) Le supra-occipital (fig. 50, fig. 51, fig. 52). — Jusqu'au stade de 20 centimètres, le supra-occipital ne paraît pas être le siège de phénomènes notables d'érosion osseuse. Il se présente sur les coupes sous forme d'une lame d'os enchondral mince et en voie de disparition graduelle, doublée sur ses deux faces par des travées, successivement déposées, d'os périostique. La portion ossifiée de la pièce se continue et s'étend dans le cartilage général du toit synotique par une ligne d'ossification curviligne ouverte en dedans et en haut.

Au stade de 20 centimètres, il apparaît, à la face interne du supra-occipital, une surface d'érosion limitée à la ligne d'ossification elle-même et s'étendant quelque peu sur l'os enchondral voisin. La présence de cette ligne d'érosion a des conséquences histologiques intéressantes que je crois assez rares : elle empêche la formation de la croûte osseuse périchondrale, de sorte que l'os enchondral arrive à limiter directement la cavité crânienne à ce niveau. L'étendue de cette surface d'érosion, toujours présente, est plus grande dans les régions juxta-médianes de l'os que vers les parties latérales. Cette étendue augmente

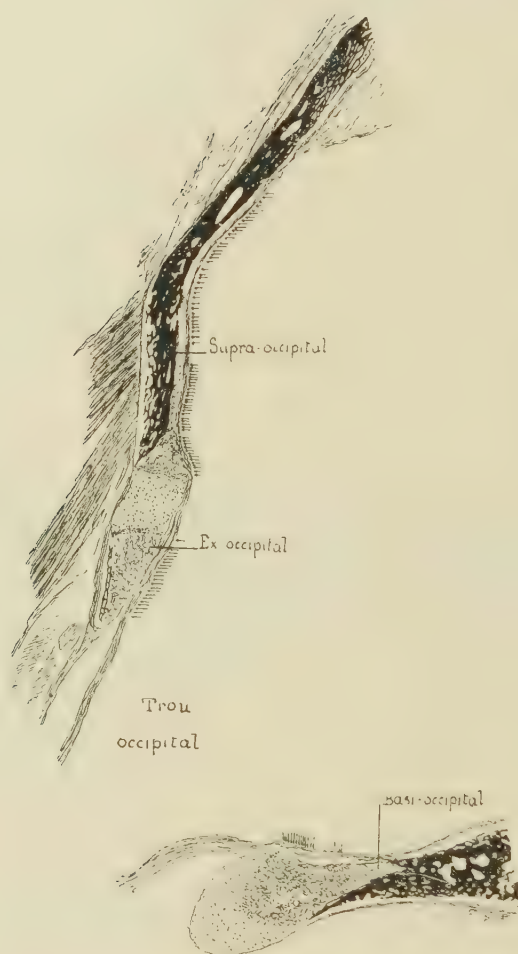


FIG. 50. — Fœtus de Mouton de 30 centimètres. Formol à 5 pour 100. Hématéine-éosine. Gr. : 5 D.

Coupe sagittale de la région occipitale du crâne, passant par le trou occipital, un peu en dehors de la ligne médiane. Les flèches indiquent la position exacte des ostéoclastes employés à la résorption interne du supra-occipital, de l'ex-occipital et du basi-occipital. L'os périostique est en traits noirs épais, l'os enchondral en traits fins, le cartilage en pointillé. Au niveau du supra-occipital on compte 73 ostéoclastes sur une longueur de 10 millimètres environ; à la face endocranienne du basi-occipital il y en a 15 sur une longueur de 2 millimètres.

d'ailleurs dans la suite (stades de 30 et 50 centimètres) et a pour effet d'atteindre des parties d'os périostique et d'os enchondral déjà assez éloignées de la ligne d'érosion.

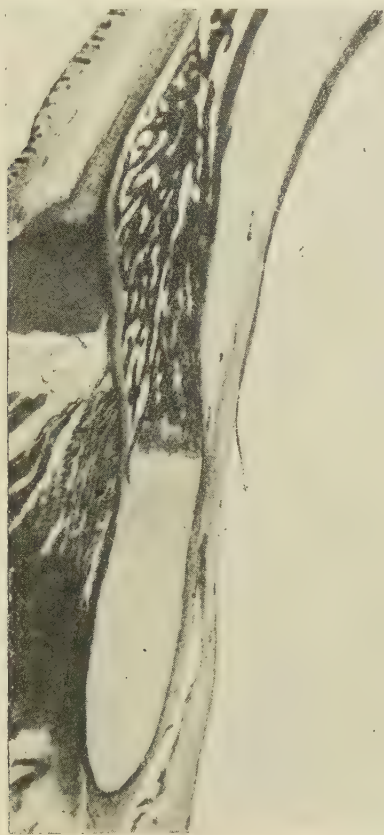


FIG. 51. — Fœtus de Mouton de 20 centimètres. Formol à 5 pour 100. Hématoxyline-éosine. Gr. : 13 D.

Coupe sagittale de la région occipitale passant par un plan très voisin de la ligne médiane (fragment). — La figure montre le supra-occipital qui progresse inférieurement par sa ligne d'ossification dans le cartilage du toit synotique. — On voit qu'il existe à la face externe (gauche dans la figure) une forte apposition d'os périostique. L'os enchondral est réduit à une lame cunéiforme; un fort grossissement montre qu'il est érodé à sa face interne par les ostéoclastes.

Pendant toute cette période, l'os s'épaissit fortement par apposition externe. Les nouvelles travées osseuses y revêtent

une direction oblique tout à fait spéciale, ce qui permet de distinguer, même à un faible grossissement, les territoires respectifs de l'os enchondral et de l'os périostique externe (*fig. 51 et fig. 52*). On saisit avec la plus grande netteté comment, à partir d'un certain moment, l'os enchondral est réduit progressivement par l'érosion interne, tandis que la formation d'os périostique externe tend à constituer la majeure partie de la paroi osseuse.

La surface d'érosion se déplace comme la ligne d'ossification elle-même; il en résulte, dès lors, qu'elle agit comme un rabot qui ravalerait le modèle cartilagineux dans les parties où celui-ci s'accroît et qu'elle a pour effet de modifier la courbure générale de l'os sur sa face interne.

e) Basi-occipital (fig. 50). — Des phénomènes du même ordre s'observent au niveau de la face endocranienne du basi-occipital.

Ici, également, il existe une érosion limitée de la ligne d'ossification elle-même et de l'os enchondral voisin, tandis que la face exocranienne du basi-occipital s'épaissit par une forte apposition d'os périostique.

La disposition est comparable, aux divers stades étudiés, à celle que nous venons de décrire en détail pour le supra-occipital; il est légitime de penser que les conséquences sont du même ordre et que le processus aboutit à un accroissement du diamètre vertical de la cavité du crâne par creusement de la face endocranienne de l'os.

f) Les ex-occipitaux (fig. 50). — Les deux ex-occipitaux s'allongent grâce au jeu de leurs cartilages de conjugaison, dont nous avons antérieurement précisé la situation. A partir du stade de 20 centimètres, ces os subissent en même temps une décourbure qui se combine avec leur allongement et qui intervient dans l'augmentation de volume de la cavité crânienne dans cette région.

En effet, à la face interne de chaque occipital, on voit se constituer, dans la région de leurs lignes d'ossification, des surfaces limitées d'érosion qui ravalent, tandis qu'elles se forment, les parties correspondantes du modèle enchondral.



FIG. 52. — Fœtus de Mouton de 30 centimètres, Formol à 5 pour 100.
Hématéine-éosine. Gr. : 9 D.

Coupe sagittale de la région occipitale, en dehors du trou occipital (fragment). — On reconnaît en clair le cartilage de conjugaison, à croissance bipolaire, séparant le supra-occipital, en haut, de l'ex-occipital, en bas. La face exocranienne du squelette est à gauche, la face endocranienne est à droite. A ce grossissement on voit qu'à la face externe du supra-occipital il existe de l'os périostique. L'os enchondral reconnaissable à la direction différente de ses travées a l'aspect d'une lame cunéiforme située à la face profonde de l'os périostique. Un fort grossissement montre qu'il est érodé à sa face interne sur une assez grande longueur, à partir du cartilage de conjugaison. Pareillement, on peut, dans les mêmes conditions, constater l'érosion interne de l'os enchondral de l'ex-occipital, au voisinage de la ligne d'ossification.

De ce fait, au fur et à mesure que l'os s'accroît, il se décourbe, suivant le procédé général que nous venons de voir employé par les autres pièces de l'os occipital, développées dans le cartilage.

La face externe est, ici encore, le siège d'une apposition vigoureuse d'os périostique. C'est par elle que l'os s'épaissit, tandis qu'il se creuse par sa face profonde.

*
* *
*

En somme, au niveau de ces différentes pièces, il existe un processus général d'érosion interne et d'apposition externe combiné à la croissance par les cartilages de conjugaison ou par les sutures. En raison même leur situation, au niveau des régions de croissance, on peut saisir, avec la plus grande netteté, comment des surfaces de résorption, même d'étendue assez faible, peuvent entraîner des conséquences générales sur la forme et la courbure de l'os définitif.

CHAPITRE IV

Mécanisme de croissance de la cavité crânienne

I. — Croissance de la voûte.

Il suffit d'envisager les os nés en milieu conjonctif ; les deux frontaux, les deux pariétaux et l'interpariétal. Les phénomènes généraux sont les mêmes pour tous ces os ; il s'y ajoute des procédés particuliers pour chacun d'eux. Des causes locales telles que la courbure spéciale de chaque pièce ou ses relations avec les formations voisines, les insertions musculaires ou tendineuses pourront faire varier les aspects sans rien changer à l'essentiel du phénomène.

A) Procédés de croissance communs à plusieurs os :

I. *Les travées osseuses constituées, lorsque l'osséine est imprégnée de sels calcaires, sont inextensibles et indéformables.*

La preuve de ces faits a été donnée en ce qui concerne les os longs et plats ; elle s'applique à un os comme le maxillaire inférieur, né directement en milieu conjonctif, ainsi que l'ont montré notamment les vieilles expériences de HUNTER et les recherches plus récentes de HUMPHRY (1), de SCHÄFFER (2) notamment. On admettra facilement que la mécanique du développement du maxillaire inférieur est aussi complexe que celle du frontal ou du pariétal. Il n'est pas nécessaire de chercher pour ces derniers des procédés spéciaux, encore moins de supposer des

(1) HUMPHRY (G. M.), On the growth of the jaws. *Journal of Anat. and Physiol.*, t, XII, p. 280-293, 1878.

(2) SCHÄFFER (J.). Die Ver Knöcherung des Unterfiekers -und die Metaplasiefrage. *Arch. f. mikr. Anat.*, Bd. 32, S. 267-377, 1888.

processus particuliers, que rien ne démontre, comme celui de l'accroissement interstitiel des parties déjà formées.

Le principe posé ci-dessus, résultat des faits expérimentaux, a comme conséquence le corollaire suivant :

II. *Un os de la voûte du crâne, considéré à un stade donné, a une courbure déterminée, qui ne peut varier au cours du développement, même si cette portion d'os persiste dans des stades ultérieurs.*

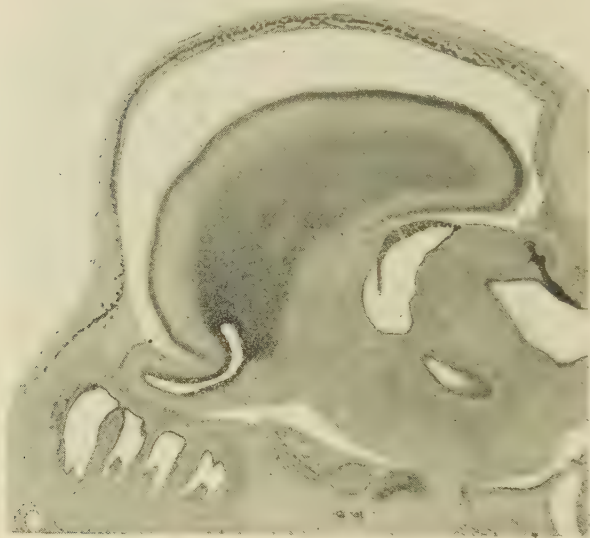


FIG. 53. — Fœtus de Mouton de 7 cent. 5. Formol à 5 pour 100. Hématéine-éosine. Gr. : 7 D.

Coupe sagittale paramédiane, totale du crâne (région antérieure). Remarquer, dans la région de la bosse frontale, l'os ancien, reconnaissable à sa densité ; il a une courbure propre, incorporée dans la courbure de l'os total.

Il est, en outre, nécessaire de faire intervenir dans notre mécanique du développement la totalité des phénomènes observés, c'est-à-dire ceux que l'on connaît déjà : l'apposition externe, pour l'épaississement de l'os, la croissance en surface par les sutures, et en outre les faits suivants que nous avons constatés.

III. On retrouve à différents stades, dans les os de la voûte du crâne, des parties d'os qui se sont formées dans un stade antérieur; elles sont plus denses que le reste de l'os et la courbure des travées y est plus forte que celle de l'os au stade considéré.

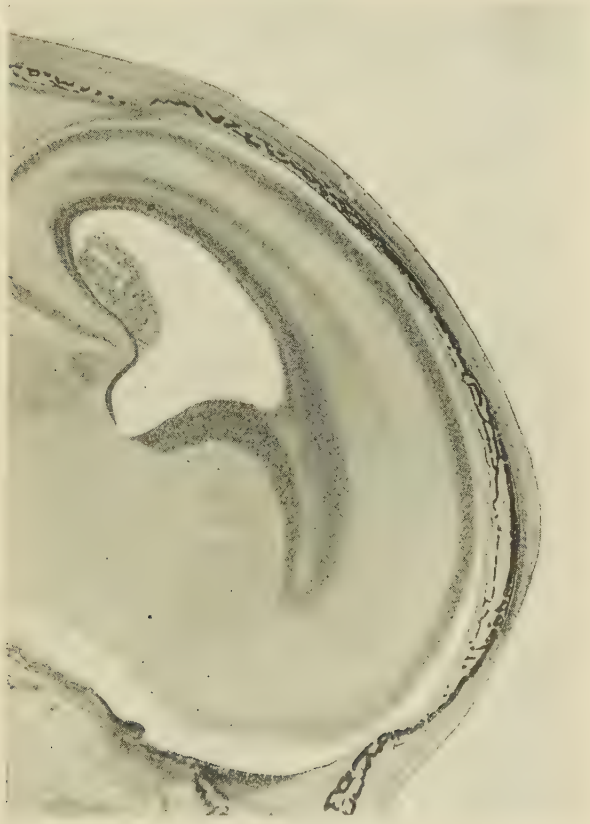


FIG. 54. — Fœtus de Mouton de 11 cent. 5. ZENKER. Hématéine-éosine.
Gr. : 7 D.

Coupe sagittale et latérale de l'écaille frontale. — Dans la région de la bosse frontale, on voit en surface l'os ancien, dense; de l'os récent lui est sous-jacent; la courbure de ces deux os est nettement différente; l'os ancien est plus courbé que l'os de formation récente.

IV. Ces régions d'os ancien, conservées et utilisées dans l'os nouveau, sont situées en général au centre de figure de l'os ou au voisinage de ce centre.

V. On constate histologiquement un phénomène de résorption de la face externe de l'os, combiné avec de l'apposition osseuse à la face interne. — Le phénomène de résorption interne est parfois très accusé, très étendu, parfois plus limité à certaines régions de cette surface.



FIG. 55. — Même provenance et même grossissement que la figure 54.
La coupe est ici plus voisine de la ligne médiane; elle montre d'ailleurs dans l'ensemble le même phénomène mais dans une autre région de l'écaille.

VI. Le phénomène inverse du précédent peut être constaté, mais dans les régions centrales de l'os seulement. Il y a alors apposition centrale interne combinée avec l'érosion centrale externe.



FIG. 36. — Fœtus de Mouton de 30 centimètres. Formol à 5 pour 100. Hématéine-éosine. Gr. : 6 D.

Coupe sagittale, para-médiane de l'écaille frontale. Remarquer la courbure spéciale des travées d'os ancien, reconnaissables à leur densité, dans la partie supérieure de la figure.



FIG. 37. — Même provenance et même grossissement que dans la figure 35.
La coupe a intéressé l'écaille frontale plus latéralement, mais la figure montre le même phénomène que les images précédentes.

Les faits V et VI ont été démontrés au chapitre prédédent, il n'y a donc pas lieu d'y revenir, mais seulement d'en tenir compte.

Les faits III et IV résultent de l'examen des préparations dont divers échantillons sont représentés dans les microphotographies des figures 43, 53, 54, 56, 57. On voit, notamment sur le pariétal du Mouton de 30 centimètres, que la zone moyenne de cet os est formée par une couche externe d'os compact ancien, qui se recourbe à ses deux extrémités pour venir effleurer la dure-mère (*fig. 46*). Il est bien certain que cet os compact est plus ancien que les travées osseuses situées au-dessous de lui, du côté de la dure-mère, dans la région centrale, et plus ancien

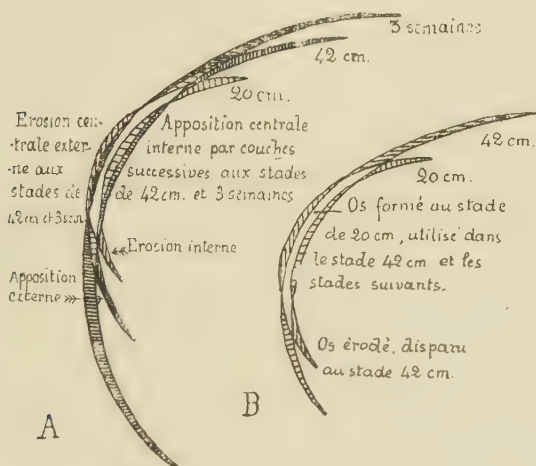


FIG. 58. — Schéma indiquant le mécanisme de la decourbure par la combinaison des processus de résorption interne périphérique avec apposition externe périphérique, coïncidant avec des phénomènes d'érosion externe centrale avec apposition interne centrale. — Dans ce schéma et les suivants, les courbures respectives des os aux divers stades sont réelles. — L'os étudié est le pariétal.

aussi que les travées osseuses sous-périostées qui le doublent extérieurement, au niveau de ses bords, ou au delà de ceux-ci vers la périphérie de l'os total. Cet os ancien a donc été formé dans un stade précédent, déporté vers l'extérieur par la croissance de la cavité crânienne, et il occupe, à peu de chose près, la région moyenne du pariétal au stade de 30 centimètres.

L'os ancien est donc partiellement conservé, à peu près, au centre de figure de l'os nouveau.

Si nous utilisons l'os ancien en rectifiant ses courbures, suivant les phénomènes indiqués dans la figure 58, le procédé sera des plus économiques. C'est, en effet, ce qui se passe, au moins

en partie, lors de la croissance des frontaux et des pariétaux notamment, et ce qui est réalisé complètement pour les ex-occipitaux.

En d'autres termes, le pariétal d'un fœtus de 7 centimètres a un rayon de courbure X ; du fait de l'accroissement de la cavité crânienne, cet os est déporté vers l'extérieur *sans modifier sa courbure*. S'il persiste tel quel, cet os devient très rapidement absurde par rapport à la cavité qu'il recouvre; la figure ci-jointe le montre (fig. 59).

Or, dans l'accroissement du pariétal, par exemple, nous savons que l'extension par les sutures agrandit la surface de l'os. Nous savons aussi que les



FIG. 59. — Schéma destiné à montrer la situation qu'occuperaient, par rapport au pariétal de l'animal de trois semaines, les pariétaux des stades de 7 centimètres, puis de 30 centimètres, si on supposait que ces os déportés vers l'extérieur par la croissance de la cavité crânienne ont persisté intégralement sans modifier leurs courbures.

lamelles d'os jeune auront la même courbure que la lame fibreuse dans laquelle elles naissent.

Si nous admettons que ce simple phénomène d'agrandissement par les sutures est mis en jeu sans modification de l'os primitif, l'os total est absurde. Le diagramme (fig. 60) représente la forme qu'aurait un os ainsi développé, d'après les stades que nous connaissons, supposés raccordés les uns aux autres dans le temps et dans l'espace

Il faut donc supposer, de toute nécessité, des procédés qui

aboutissent à augmenter progressivement le rayon de courbure de l'os primitif.

Naturellement ces procédés ne doivent découler que des faits actuellement connus, si tant est qu'ils sont suffisants. Et ils le sont.

Représentant le pariétal au stade de 7 centimètres, nous pouvons supposer qu'il se fait, durant toute la croissance, de l'apposition à la surface externe et de la résorption à la surface interne. Il est incontestable que ces deux processus existent simultanément, qu'ils sont l'un et l'autre importants, comme

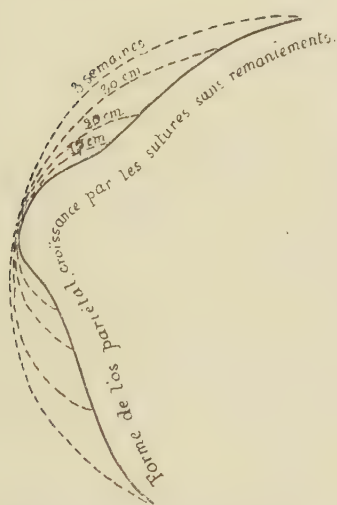


FIG. 60. — Résultat auquel aboutirait la croissance osseuse par les sutures s'il n'existait pas de rectification des courbures par des phénomènes de résorption et d'apposition conjugués.

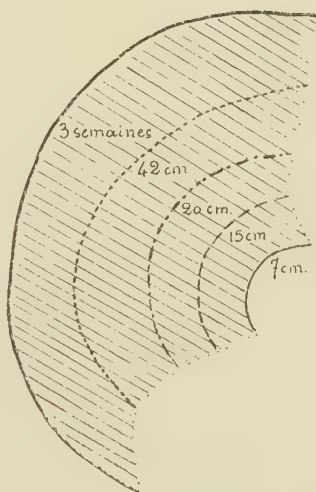


FIG. 61. — Ce schéma montre la quantité énorme d'os qui devrait être formée et résorbée dans l'hypothèse d'une décourbure par érosion interne générale avec apposition externe générale.

cela a été déjà dit. Dès lors, grâce à ces phénomènes, combinés avec l'élargissement de l'os, par les sutures on aboutit à un allongement progressif du rayon de courbure du pariétal, qui donne au stade de trois semaines un os à courbure normale. Le processus est rationnel, mais il n'est pas satisfaisant, car il aboutit à la formation d'une quantité d'os énorme, au total,

comme le montre le diagramme. Le procédé n'est pas économique (*fig. 61*).

Je ne prétends pas que l'os formé dans les tout premiers stades (3, 7 et 10 centimètres) se retrouve dans l'os adulte. Je pense, au contraire, que l'érosion interne est trop marquée dans la première période pour qu'il subsiste quelque chose de ces travées osseuses. Mais je crois que l'os formé au stade de 20 centimètres, par exemple, se retrouve en partie dans la région centrale de l'os de 42 centimètres et même de trois semaines après la naissance (*fig. 58 A et B*).

On saisit facilement sur les diagrammes des figures 58 *A* et *B* la possibilité du phénomène. On en conçoit aussi l'économie. Seules, les parties absolument inutilisables sont résorbées, mais le maximum de matière est conservé.

Cette économie est due à l'emploi du double procédé : érosion centrale externe avec apposition centrale interne et érosion périphérique interne avec apposition périphérique externe.

A la rigueur, on pourrait considérer ce modelage par les procédés combinés comme satisfaisant. Mais il ne correspond pas complètement

aux faits observés. Il est en contradiction avec eux sur les points suivants :

- a) On n'observe toujours qu'une résorption interne modérée dans la moitié supérieure du pariétal aux stades de 25 à 50 centimètres.*
- b) Par contre, l'érosion est toujours considérable dans la moitié inférieure.*

Le diagramme de la figure 62 tient compte de ces phénomènes

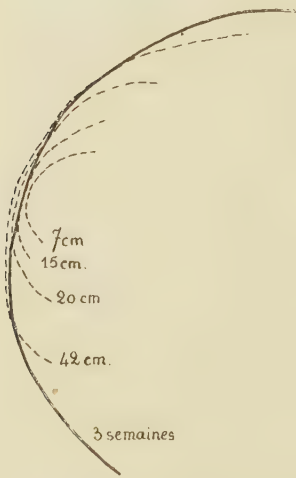


FIG. 62. — Si l'os ancien restait au centre de figure de l'os nouveau, il faudrait admettre une érosion interne périphérique aussi considérable dans la moitié supérieure que dans la moitié inférieure du pariétal. Voir aussi figure 58 *A* et *B*.

en supposant que l'os ancien reste au centre de figure de l'os nouveau. Le procédé peut paraître rationnel. Cependant il suppose une résorption interne périphérique aussi considérable dans la moitié supérieure que dans la moitié inférieure. Ce n'est pas ce que nous avons constaté ci-dessus. D'autre part, il ne tient pas compte d'un autre fait d'observation, à savoir que *l'os ancien n'occupe pas exactement le centre de la figure de l'os nouveau*; ce qui revient à dire que certaines sutures fournissent plus que d'autres à l'élargissement de l'os.

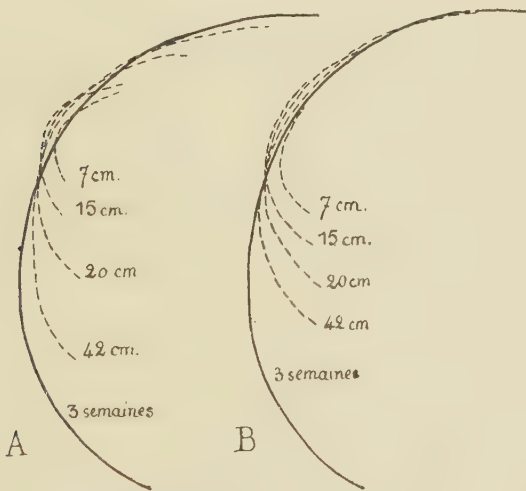


FIG. 63 A et B. — Mécanisme réel de la décourbure du pariétal selon nous.

A) Inégalité de l'accroissement des bords du pariétal. Le bord inférieur fournit plus d'os que le bord supérieur. La quantité d'os à résorber sera importante dans la moitié inférieure de la pièce; elle sera très faible dans la moitié supérieure. Du fait de cette inégalité de croissance, le centre de figure de l'os s'abaisse progressivement.

B) Mêmes dispositions générales que dans A, mais en admettant en plus un mouvement d'éversion du pariétal par bascule. Dans ces conditions, on voit que la résorption interne s'exercera seulement dans la moitié inférieure de l'os, et qu'elle sera absente dans sa moitié supérieure, ce qui correspond complètement aux faits observés.

En tenant compte de ce dernier fait et en reportant sur notre diagramme l'os nouveau au-dessous du centre de figure du pariétal, nous n'aurons qu'une faible quantité d'os à résorber

dans la région supérieure, et au contraire une quantité considérable à détruire dans la région inférieure. Le diagramme de la figure 63 A est donc en accord avec tous les faits constatés histologiquement.

Enfin, il existe un phénomène possible, difficilement constatable, qui peut et doit intervenir pour le frontal et le pariétal. Ces os sont relativement fixés du côté de la base, le frontal en avant de l'ethmoïde et sur l'orbito-sphénoïde, le pariétal sur la paroi interne du temporal et l'ali-sphénoïde. La poussée interne



FIG. 64. — Diagramme de croissance de la cavité crânienne dans le sens antéro-postérieur et dans le sens vertical, obtenu par superposition des sections sagittales et médianes du crâne aux stades indiqués. La superposition a été faite en prenant pour point fixe la fosse hypophysaire et l'accroissement de la cavité est envisagé indépendamment des jonctions du crâne avec la colonne vertébrale. Gr. : 1,3 D.

qui s'exerce sur le frontal et le pariétal s'applique plus spécialement sur les régions supérieures de ces os et peut provoquer un phénomène de bascule autour d'un axe situé environ à l'union du tiers inférieur et des deux tiers supérieurs. Il en résulte que le tiers supérieur éversé est presque toujours en direction normale de l'os à venir; il n'est que très peu, ou pas du tout, le

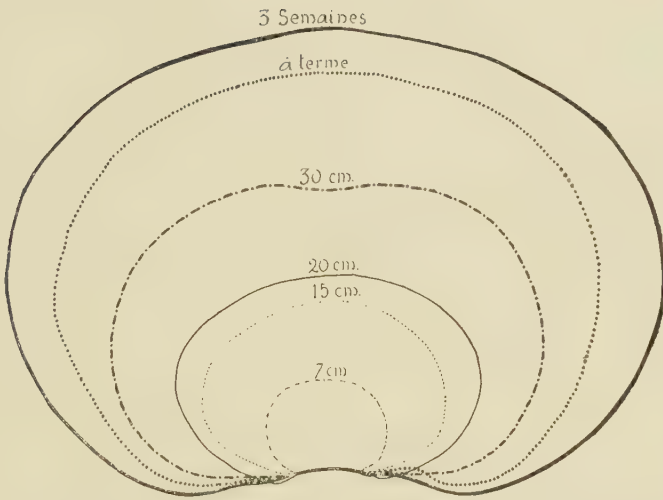


FIG. 65. — Diagrammes de croissance obtenus par des coupes vertico-frontales du crâne passant immédiatement en arrière du sommet de l'orbite et superposées par rapport au plan horizontal, considéré comme fixe, des ailes orbitaires du sphénoïde.

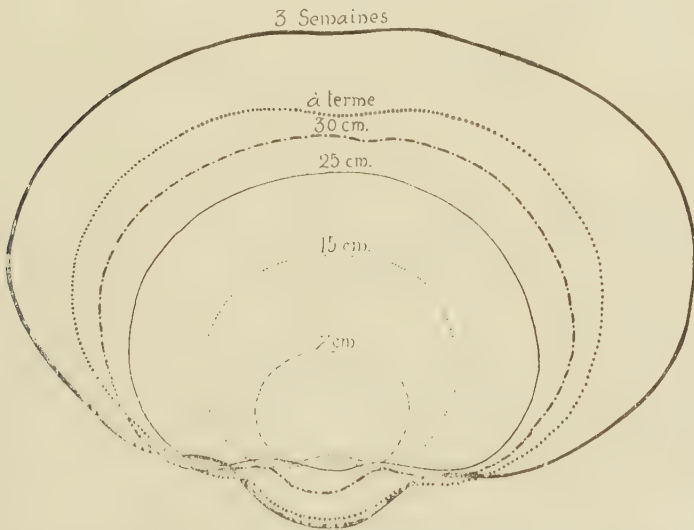


FIG. 66. — — Diagrammes de croissance obtenus par des coupes vertico-frontales du crâne passant par la partie moyenne de la fosse hypophysaire et superposées par rapport au plan horizontal de la racine des ailes temporales du sphénoïde.

siège d'érosion interne, tandis que le tiers inférieur, rentrant vers la cavité, est au contraire le théâtre d'une érosion interne très accentuée, ce qui a été constaté (*fig. 63 B*).

Ce n'est qu'une hypothèse raisonnable, difficile à démontrer directement, mais qui trouve peut-être sa confirmation dans la disposition spéciale des travées du frontal (*fig. 23, 24, 25*) et qui nous paraît la seule plausible, car elle cadre avec les faits.

Nous fournissons, à titre d'indication, les figures obtenues par la superposition des diagrammes de la cavité crânienne, confor-

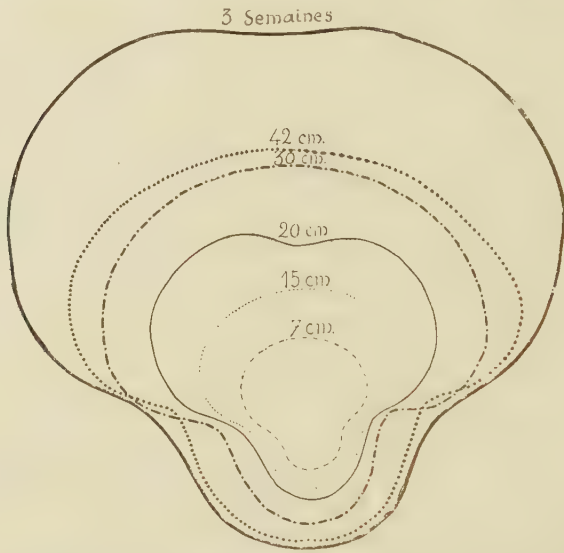


FIG. 67. — Diagrammes de croissance obtenus par des coupes vertico-frontales du crâne passant immédiatement en arrière du conduit auditif externe, superposées par rapport au bord supérieur des capsules auditives intéressées par la section.

mément aux légendes explicatives accompagnant les figures 64, 65, 66, 67. Ces diagrammes donnent une idée de l'allongement des divers diamètres de la cavité crânienne, considérée en elle-même et indépendamment des lésions contractées par le crâne avec la colonne vertébrale ; ils permettent aussi de suivre les variations des courbures des os de la voûte aux divers stades indiqués.

B) Procédés de croissance propres à chaque os. — Les procédés

généraux s'appliquent aux os de la voûte du crâne nés en milieu conjonctif (frontal, pariétal, interpariétal); mais ils sont utilisés d'une façon un peu variable dans chacun de ces os. Une étude spéciale est donc nécessaire pour connaître le mécanisme d'accroissement de la cavité crânienne.

a) FRONTAL. — Le frontal naît par deux points primitifs situés au-dessus de la région sus-orbitaire, ou plutôt il y a primitivement un frontal droit et un frontal gauche, séparés l'un de l'autre par la suture métopique.

Les points d'ossification primaires ont tendance à s'étendre surtout en haut et en arrière, suivant une ligne qui forme circonférence, puis l'os tend vers la forme quadrangulaire, très accentuée chez le Mouton.

Durant cette extension, la partie relativement fixée du frontal est certainement celle qui repose sur la capsule cartilagineuse de l'ethmoïde; les travées osseuses y forment même une lame qui s'étend en direction des os nasaux.

Les phénomènes histologiques constatables sont :

1° *Stades jeunes.* *a)* Apposition externe et résorption interne discrète; *b)* apposition faible et lente sur la zone de contact avec l'ethmoïde, tendant à soulever le rebord antérieur du frontal et le rebord orbitaire; *c)* une zone faible située immédiatement au-dessus du rebord orbitaire avec une seule couche de travées osseuses.

2° *Stades plus avancés.* *a)* De l'apposition interne combinée avec de la résorption externe à la partie moyenne de l'os; *b)* une résorption interne considérable sur la moitié inférieure de chaque os, avec apposition externe correspondante; *c)* une apposition régulière en couches successives d'os nouveau sur le bord supérieur et interne de chaque os; ces couches se superposent d'avant en arrière ou de dehors en dedans, comme les tuiles d'un toit: la partie postérieure de chaque lame recouvre la partie antérieure des lames suivantes; les lames sont donc imbriquées (*fig. 23, 24, 25*). Ce fait est facilement contrôlable sur les coupes et les pièces traitées par la méthode de SPALTEHOLZ.

3° Pendant tous ces stades, les parties latérales des frontaux sont en contact avec l'extrémité des ailes cartilagineuses des orbito-sphénoïdes (petites ailes ou ailes orbitaires) qui tendent à écarter ces parties latérales et à les repousser en haut. En effet, l'orbito-sphénoïde s'étend latéralement et, par la croissance de ses extrémités encore cartilagineuses, il vient buter de part et d'autre contre le frontal correspondant, à sa face interne. Ces lames latérales s'insèrent même dans les mortaises sphénoïdales des frontaux.

Par la combinaison de ces phénomènes, il arrive que :

a) Les deux ébauches frontales s'écartent l'une de l'autre par la poussée de l'orbito-sphénoïde cartilagineux ; donc la suture métopique tend à s'ouvrir davantage, mais elle est comblée au fur et à mesure par de l'os nouveau.

b) Les parties latérales des os frontaux sont soulevées par la poussée de l'orbito-sphénoïde cartilagineux, l'os tend à basculer ; ce phénomène sera discuté plus loin.

c) L'allongement du basi-sphénoïde, du pré-sphénoïde, de l'éthmoïde cartilagineux repousse en avant la base du frontal.

Les résultats au point de vue de l'accroissement de la cavité crânienne. — La cavité s'élargit dans le plan transversal qui passe par l'apophyse *crista galli*, jusqu'au moment de la fermeture totale de la suture métopique. Elle s'élargit aussi par la résorption des parties inférieures et latérales du frontal. Un phénomène analogue se fait du côté de l'orbite et l'élargit par résorption. La cavité s'allonge dans le plan antéro-postérieur, car le frontal est repoussé en avant par la croissance du basi-sphénoïde et du pré-sphénoïde. Cet allongement est complété par la résorption continue et considérable qui se fait à la face interne du frontal dans la moitié ou le tiers inférieurs.

Pendant cet allongement, la suture fronto-pariétale tend à s'ouvrir ; elle est fermée au fur et à mesure par de l'os nouveau. Pour observer avec fruit cette croissance, il importe d'utiliser des coupes sagittales passant par le milieu de l'orbite ; les coupes sagittales médianes, ou immédiatement para-médianes, sont sans intérêt, en raison de l'existence de la suture métopique. Or,

dans ces coupes antéro-postérieures passant par le milieu de l'orbite, le frontal contient un hémisphère cérébral, à croissance rapide. La croissance de l'os sera donc, elle aussi, rapide dans le sens antéro-postérieur, puisque les hémisphères se projettent bien en avant de la lame terminale de la première vésicule. De plus, en raison de la situation du point d'ossification primitif, toute la croissance antéro-postérieure portera sur la suture

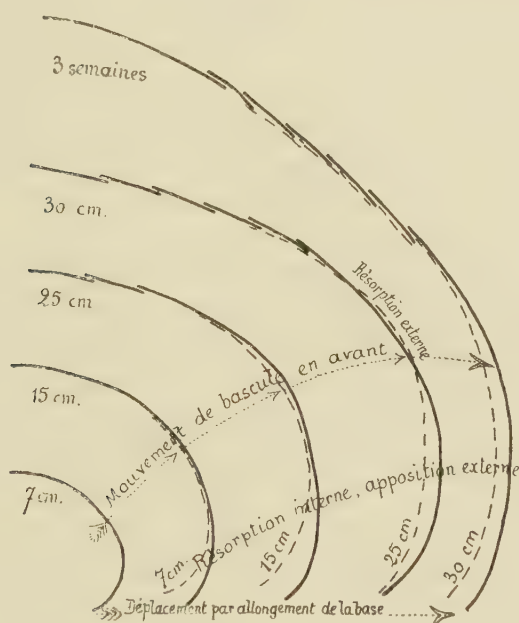


FIG. 68. — Schéma indiquant la position et les formes successives du frontal dans la conception admise par nous d'un basculement de l'os combiné à son déportement et à la décourbure, par érosion interne de la portion verticale de l'écaille avec résorption externe centrale limitée.

fronto-pariétale. C'est là, en effet, qu'on constate ces lames osseuses imbriquées (*fig. 23, 24, 25*) si caractéristiques indiquant un recul relatif rapide du bord supérieur du frontal, qui complète à la voûte l'allongement de la base.

Le phénomène de basculement du frontal (*fig. 68*) est difficile à constater expérimentalement. Il faut cependant l'admettre.

au moins à titre d'hypothèse très probable à la suite des constatations suivantes :

1^o S'il n'existe pas de basculement du frontal en avant autour de l'axe sus-orbitaire, il faut supposer une résorption interne portant sur le bord supérieur et la moitié supérieure du frontal, pour redresser progressivement la courbure de l'os dans le plan antéro-supérieur. Cette résorption n'existe pas, c'est même le seul endroit où on n'observe pas d'ostéoclastes ni de désagré-gation osseuse. Par contre, c'est une zone d'apposition intense.

2^o Si le basculement existe autour d'un axe horizontal passant à peu près par les bords supérieurs des orbites, on peut toujours admettre qu'à des stades successifs le plan de la moitié supérieure du frontal (à peine courbé) se met en position utile pour être prolongé par une couche osseuse nouvelle en même direction que les anciennes.

3^o Bien plus, les lames osseuses nouvelles s'imbriquent avec les anciennes de l'intérieur vers l'extérieur et d'avant en arrière. Il est impossible de concevoir une imbrication semblable si l'on ne suppose pas que la direction de l'os ancien se met dans la direction de l'os nouveau. Ce changement de direction implique ou un changement de courbure des travées préexistantes, phénomène qui n'a jamais été constaté, ou un basculement en avant de l'os.

Ajoutons, sans le donner comme preuve, que le phénomène de basculement du frontal permet de concevoir le développement de cet os avec le maximum d'économie de matière. En règle générale, c'est le procédé le plus économique qui est employé pour aboutir à une fin précise en matière d'ossification, et peut-être en matière de biologie générale.

b) PARIÉTAL. — Il reste peu de chose à dire sur cet os qui a servi à établir le type général. Le développement se fait donc à partir d'un point d'ossification unique et suivant le schéma que nous avons indiqué : l'apposition interne et la résorption externe centrales se combinent avec l'apposition externe et la résorption interne périphérique, en même temps que l'os s'agrandit par les sutures. Il en résulte un accroissement de l'os en même temps

qu'une augmentation du rayon de courbure. Le centre de figure se déplace en haut et en dehors, de sorte que l'os ancien se trouve situé, à peu près, au centre de figure de l'os nouveau; le résultat est de placer la moitié supérieure de l'os formé à un stade précédent, presque dans le plan de l'os à venir dans un stade suivant, du côté de la suture médiane. Donc, il y a peu de résorption interne dans la moitié supérieure. Par contre, il se produit une érosion interne considérable dans la moitié inférieure de l'os, amenant la disparition totale des travées formées antérieurement, qui sont remplacées par des travées nouvelles étendues de plus en plus du côté de la suture pariéto-sphéno-squamosale, c'est-à-dire dans la région où les trois os se superposent. C'est dans cette moitié inférieure que l'os présente son maximum de courbure, il se forme deux fosses profondes, latérales, qui logeront les lobes temporaux du cerveau. La résorption interne, toujours très marquée dans cette région, est utilisée pour l'approfondissement et le modelage de ces fosses.

Enfin, remarquons encore que les pariétaux, au cours des derniers temps de la vie intra-utérine, se prolongent profondément du côté de la base du crâne, recouvrant complètement la face interne du squamosal et une notable partie des ailes temporales du sphénoïde.

C'est là le principal mécanisme de décourbure du pariétal. S'y ajoute-t-il un phénomène de basculement en dehors tendant à écarter par éversion les bords sagittaux des deux os?

Nous le pensons, bien que nous ne puissions donner du fait que des preuves indirectes.

Le pariétal est résorbé largement à la face interne dans sa moitié inférieure, mais il persiste entièrement dans ses parties supérieures, où l'érosion interne manque. A moins d'admettre un processus de décourbure par extension passive combinée à une croissance interstitielle, que rien ne démontre, il est raisonnable de conclure à une éversion probable de l'os combinée avec son déportement latéral.

Dans sa portion supérieure, l'os est d'ailleurs presque plan; l'éversion nécessitée doit être donc de très faible amplitude;

c'est probablement pour cette raison que nous n'avons pu observer, comme au niveau du frontal, des images histologiques objectivant directement ce phénomène.

c) INTERPARIÉTAL OU EPACTAL. — Cet os n'a qu'une faible étendue chez le Mouton; il se place entre le supra-occipital en arrière et les pariétaux en avant. Il se soude de bonne heure, après la naissance, au supra-occipital et forme, en définitive, la partie supérieure de l'écaille occipitale.

C'est un os à faible courbure transversale et très court. Les phénomènes mécaniques de développement sont donc d'une grande simplicité. On y observe surtout une apposition interne considérable qui, en même temps qu'elle diminue les rayons de courbure de l'os, l'épaissit fortement. Des phénomènes locaux de résorption interne et externe font le modelage de cet os, notamment lors du développement du cervelet.

Au total, son action pour la croissance de la cavité crânienne se conjugue étroitement avec celle du supra-occipital. Jusqu'au moment de sa soudure avec ce dernier os, il comble, par sa croissance en surface, l'hiatus qui sépare les pariétaux du supra-occipital.

d) SUPRA-OCCIPITAL. — Le supra-occipital, qui forme une très notable partie de l'écaille occipitale, n'est pas un os de membrane. Il est précédé d'un modèle cartilagineux et se développe comme un os enchondral. Il est cependant nécessaire de le placer ici, car il fait partie de la voûte crânienne. Il n'occupe d'ailleurs qu'une faible partie de la voûte, tout à fait en arrière, au niveau de la fosse cérébelleuse.

Le point d'ossification double d'abord, bientôt unique par fusion, apparaît dans l'écaille cartilagineuse; il gagne rapidement du côté de l'interpariétal, beaucoup plus lentement en direction du trou occipital; son extension latérale est précoce et rapide.

Dans les stades jeunes, la partie ossifiée du supra-occipital est formée par une croûte osseuse périchondrale interne, toujours mince et discontinue, recouverte par du cartilage qui subit les modifications pré-ossificatrices, sans aboutir à la formation

véritable d'os enchondral net. Sur la face externe, la croûte osseuse périchondrale est forte, régulière et se double rapidement de lamelles d'os périostique.

Dans des stades plus avancés, les phénomènes sont très caractéristiques. On observe :

1^o Une ligne d'ossification enchondrale qui gagne progressivement vers le bord inférieur de l'écaïlle cartilagineuse, sans jamais l'atteindre. Les ex-occipitaux vont envahir la partie de cartilage qui limite le rebord supérieur du trou occipital et il persistera, même après la naissance, un cartilage de conjugaison, en forme de T. La branche horizontale du T fournit au supra-occipital et aux ex-occipitaux, la branche verticale sépare les deux ex-occipitaux, fournit à chacun d'eux de l'os enchondral et participe à l'accroissement du diamètre transversal du trou occipital. Le cartilage supérieur, qui joue le rôle de cartilage de conjugaison fertile sur ses deux faces entre le supra-occipital et les ex-occipitaux, allonge ces os dans le sens vertical. Cet accroissement combiné à la croissance propre de l'interpariétal, encore distinct, augmente donc la hauteur de la cavité crânienne dans la région postérieure (*fig. 69*).

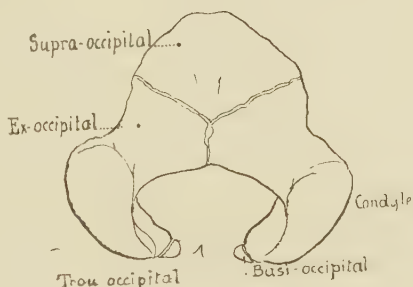


FIG. 69. — Crâne d'un Agneau de trois semaines. Vu du segment postérieur d'une coupe vertico-frontale du crâne, passant en avant du trou occipital et indiquant la constitution de la paroi crânienne dans la région occipitale. Grandeur nature. — On voit en particulier l'union des ex-occipitaux entre eux par un cartilage de conjugaison sagittal, et avec le supra-occipital par un cartilage de conjugaison oblique, branché de chaque côté sur le premier. — Remarquer aussi l'union de chacun des ex-occipitaux avec le basi-occipital par un cartilage de conjugaison horizontal, oblique en avant et en-dedans. Sur ce crâne le supra-occipital et l'interpariétal sont complètement soudés.

2^o La croûte périchondrale ou, si l'on veut, la lamelle d'os périostique interne, reste toujours faible; en certains points, elle est inexistante, tandis que de fortes lames d'os périostique recouvrent la face externe. Donc, l'accroissement en épaisseur

de l'os se fait exclusivement par apposition externe (*fig. 51 et fig. 52*).

3° Les deux lames interne et externe de la croûte osseuse périchondrale, se rejoignant précocement au niveau du bord libre du toit postérieur cartilagineux, le supra-occipital ne s'accroît plus de ce côté que par apposition d'os périostique. Une notable partie de la portion supra-occipitale de l'écaille définitive est donc simplement constituée par de l'os périostique (*fig. 30*).

4° Il existe une érosion interne intense, telle que la faible couche d'os périostique interne disparaît peu après sa formation. L'érosion atteint la couche d'os enchondral dont il ne subsiste que la partie immédiatement adjacente au cartilage. De sorte que l'os définitif est presque entièrement constitué par les lames d'os périostique externe. Ce phénomène est de plus en plus accusé au fur et à mesure qu'on avance dans le développement.

La soudure du supra-occipital avec l'interpariétal est précoce, elle est achevée peu de temps après à la naissance. La soudure du supra-occipital et des ex-occipitaux est beaucoup plus tardive, le cartilage de conjugaison persiste longtemps après la naissance.

Enfin le phénomène de résorption interne combiné à l'apposition externe joue un grand rôle de modelage pour approfondir la fosse cérébelleuse. Ce sont là des détails.

e) Ex-occipital. — Il est difficile, après ce que nous venons de dire, de séparer les ex-occipitaux de l'étude des os de la voûte.

Nous venons de voir comment ils s'accroissent et comment ils agissent par leurs extrémités supérieures.

Au niveau de son extrémité inférieure, chaque ex-occipital est uni au basi-occipital par un cartilage de conjugaison à direction oblique en avant et en dehors. Ce cartilage, à croissance bipolaire, intervient par une de ses faces dans l'élargissement du basi-occipital, comme nous le montrerons plus loin. Par la face opposée, il fournit de l'os à l'ex-occipital qu'il allonge à cette extrémité. De plus, l'ex-occipital présente une courbure très

appréciable ; il faut nécessairement que cet os se décourbe au cours du développement.

Cette décourbure résulte d'un processus d'érosion dont la topographie a été déjà précisée. Il suffit de rappeler ici qu'elle porte sur toute la périphérie de l'os enchondral qui avoisine les lignes d'érosion par lesquelles l'ossification progresse. Ce ravalement régulier du modèle aux diverses époques de la croissance, permet aisément de saisir le mécanisme de la décourbure, et de voir comment, dans le cas particulier, le résultat définitif est une augmentation du diamètre transversal et du diamètre antéro-postérieur de la cavité crânienne à ce niveau.

Le résultat de tous ces mouvements de croissance est, en résumé, l'agrandissement de la cavité crânienne par le déplacement vertical et latéral et antéro-postérieur du centre de figure des os de la voûte, cependant que chaque suture fournit à chaque os la quantité de matière utile qui comble au fur et à mesure l'hiatus qui se forme.

Les os s'adaptent à leur courbure et à leur forme nouvelle par des processus de résorption et d'apposition généraux ou locaux. Ces procédés, toujours simples dans les premiers stades du développement, se compliquent ensuite ou s'enchevêtrent, soit dans un but d'adaptation de l'os à sa forme générale, soit dans un but de modelage local. Un double procédé a été constaté : 1^o Erosion périphérique interne totale avec apposition externe sur toute la surface de l'os et apposition interne plus discrète sur la face endocrânienne ; 2^o Apposition interne centrale avec résorption externe centrale et érosion interne périphérique partielle avec apposition externe périphérique.

Mais les os de la voûte sont liés aux os de la base et celle-ci représente un facteur important dans l'accroissement de la cavité.

II. Croissance de la base.

Il n'est pas utile d'entrer dans l'étude de tous les détails de la base chez le Mouton. On connaît les différents points d'ossification pour chaque os, leur extension propre et les points

secondaires ne peuvent que compléter ou perfectionner le processus dû aux points primitifs. Cette étude portera donc sur les grandes lignes, en y rattachant les faits secondaires dans la mesure où ils sont utiles pour la compréhension du phénomène général.

Les os qui limitent du côté de la base la cavité crânienne sont tous d'origine cartilagineuse. Ils se développent donc sur le type des os longs ou plats précédés d'un modèle cartilagineux. Mais ils ont ceci de particulier que le modèle primitif est d'une seule venue.

Les points d'ossification apparaissent dans cette masse cartilagineuse et la transforment en os enchondral.

Mais certaines parties ne s'ossifient que tardivement (ethmoïde et capsule nasale) ou ne s'ossifient pas du tout et disparaissent par chondrolyse (commisure orbito-pariétale et lame pariétale dans la région de l'os pariétal). Enfin la capsule auditive constitue une masse cartilagineuse dont les liaisons sont faibles avec les pièces voisines; elle est entourée presque de toutes parts par des orifices qui communiquent largement entre eux (futurs trous déchirés antérieur et postérieur); elle ne se soude que tardivement aux os voisins (squamosal, ex-occipitaux, os tympanique); elle a donc son développement propre et bien qu'elle constitue une partie de la base du crâne, elle ne fait que boucher incomplètement l'hiatus entre les ailes temporales du sphénoïde, le basi-occipital et l'ex-occipital; elle touche juste la voûte en un point qui correspond à la partie postérieure du bord inférieur du pariétal, presque à la suture du pariétal et du supra-occipital.

Il résulte de ce que nous avons dit plus haut qu'en somme il se forme à la base du crâne cartilagineux trois pièces osseuses à la suite les unes des autres. Ce sont, en allant d'avant en arrière:

Le pré-sphénoïde, avec son prolongement ethmoïdal, et ses deux apophyses latérales ou orbito-sphénoïdes,

Le basi-sphénoïde et les deux ali-sphénoïdes qui l'élargissent de chaque côté,

Le basi-occipital.

Ces trois ébauches osseuses progressent par extension dans le modèle cartilagineux, mais celui-ci ne s'ossifie pas entièrement d'emblée. Deux lames cartilagineuses, transversalement orientées, persistent ; l'une entre le basi-sphénoïde et le pré-sphénoïde, l'autre entre le basi-sphénoïde et le basi-occipital. Ces lames cartilagineuses ont la constitution de cartilages de conjugaisons fertiles par leurs deux faces. Elles fournissent ainsi aux deux surfaces osseuses opposées qu'elles unissent et séparent. La direction des groupes isogéniques axiaux ne laisse aucun doute sur le sens de l'accroissement qui en résulte et il apparaît avec évidence que ces cartilages sont les agents essentiels de l'allongement de la base.

Il convient de retenir que l'extrémité postérieure du basi-occipital n'est envahie que tardivement par l'ossification (*fig. 22, 26, 27, 50*). Pendant une longue période, cette extrémité s'accroîtra par les moyens propres à la croissance du cartilage ; c'est-à-dire par croissance interstitielle dans sa masse et par apposition sous le périchondre ; c'est un processus d'accroissement en longueur du modèle cartilagineux du futur basi-occipital dont il faut tenir compte.

Le point d'ossification du pré-sphénoïde ne gagne que très lentement dans le prolongement ethmoïdal de cet os. La lame perpendiculaire et l'apophyse *crista galli* qui dérivent de cette ébauche ne sont entièrement ossifiées que longtemps après la naissance. Pendant tout ce temps, le modèle cartilagineux s'accroît suivant le processus que nous venons de décrire.

De part et d'autre de ce prolongement sagittal du sphénoïde se forment les capsules nasales cartilagineuses. Ces capsules, nées indépendamment du sphénoïde, se raccordent à lui. Elles viennent au contact sur la ligne médiane du cartilage sagittal du sphénoïde qui formera, désormais, leur paroi interne, et secondairement, leur face postérieure se fond avec la face antérieure du corps du sphénoïde. Ces formations restent longtemps cartilagineuses ; elles sont, par conséquent, susceptibles de s'accroître dans les divers sens, par les processus propres à la croissance du cartilage ; en particulier, elles s'allongeront dans le

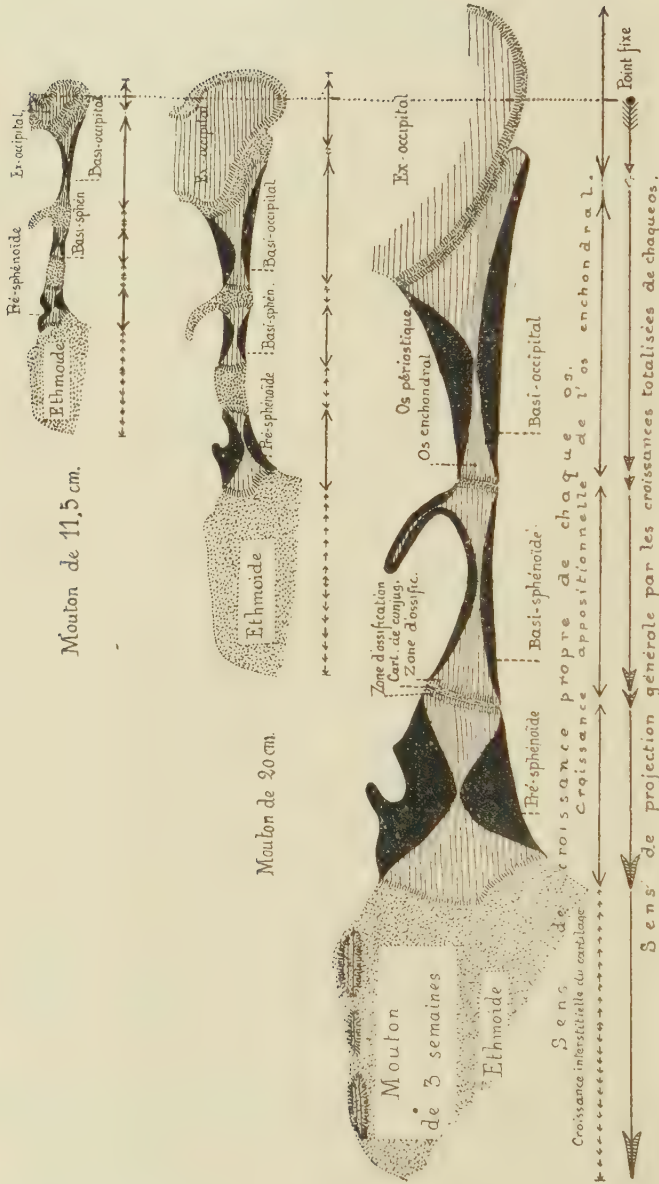


FIG. 70. Schémas indiquant la constitution de la base du crâne à divers stades, d'après des coupes sagittales passant un peu en dehors de la ligne médiane. La position des entlages de conjonction et des diverses lignes d'ossification rend compte des procédés principaux de l'allongement de la base. — Dans ces schémas, le condyle occipital par lequel le crâne se met en liaison avec la colonne vertébrale est considéré comme point fixe. (Comparer avec les figures 22, 26, 27, 33, qui montrent la constitution de la base sur des coupes plus voisines de la ligne médiane.

sens antéro-postérieur, ce mouvement étant spécialement à considérer pour le toit de ces capsules, qui entrent directement dans la limitation de la cavité crânienne en donnant naissance aux lames criblées de l'os définitif.

En résumé, l'axe osseux de la base peut être considéré, au point de vue de l'allongement, comme formé de trois blocs osseux successifs s'accroissant chacun pour leur propre compte dans le sens antéro-postérieur.

La pièce moyenne s'allonge par deux cartilages de conjugaison placés à ses deux extrémités ; les pièces extrêmes s'accroissent, par un cartilage de conjugaison, à leurs extrémités proximales et par extension du cartilage à chacune de leurs extrémités distales.

Du point de vue mécanique, le diamètre bi-condylien représente la ligne transversale fixe par rapport à laquelle toutes les autres parties se projetteront en avant (*fig. 70*).

Les procédés généraux de l'accroissement transversal des os de la base sont faciles à identifier. Examinons les trois pièces osseuses principales de cette partie du crâne, à savoir le pré-sphénoïde, le basi-sphénoïde, et le basi-occipital. Les cartilages de conjugaison que nous avons signalés entre ces diverses pièces et qui jouent un si grand rôle dans l'accroissement antéro-postérieur, interviennent aussi dans leur élargissement.

Ces lames, en effet, s'étendent transversalement au niveau de leurs extrémités latérales, grâce à un processus de croissance interstitielle dans leur masse et de croissance appositionnelle sous-périchondrale. Il en résulte que les modèles cartilagineux du corps du pré-sphénoïde, du corps du basi-sphénoïde et du basi-occipital, fourniront ainsi à l'ossification une matrice progressivement étendue dans le sens transversal.

En outre, il y a lieu de tenir compte de l'apposition osseuse périostique dont l'intervention n'est pas négligeable ; elle agit en renforçant graduellement les divers modèles cartilagineux au niveau de leurs bords latéraux.

Mais, au niveau de chacune de ces ébauches, il existe des dispositions particulières qui, par des procédés quelque peu

différents, concourent à l'élargissement de la base considérée dans son ensemble.

a) LA CAPSULE NASALE. — L'ethmoïde reste très longtemps cartilagineux et s'accroît comme tel par croissance interstitielle. Les premiers points d'ossification apparaissent le long de l'apophyse *crista galli*; les lames criblées, très importantes chez le Mouton, s'accroissent en longueur et en largeur et s'ossifient lorsqu'elles ont atteint leurs dimensions définitives.

Latéralement, le segment est complété par l'apophyse orbitaire interne du frontal. Celle-ci dérive d'un point propre, secondaire, qui apparaît au voisinage de la poulie du grand oblique. La soudure du point principal et du point secondaire est précoce. Malgré cela, les apophyses orbitaires internes des frontaux peuvent se déplacer latéralement, grâce à la duplicité de cet os et à l'existence de la suture métopique. Ces deux apophyses s'écartent donc l'une de l'autre sans perdre leurs rapports avec les parties latérales de l'ethmoïde et avec les bords externes de l'orbito-sphénoïde.

b) PRÉ-SPHÉNOÏDE (*fig. 71 et fig. 72*). — L'étude de l'ossification de cette pièce osseuse nous permet de retenir deux faits essentiels : 1° Les ébauches des orbito-sphénoïdes se soudent précocement avec le pré-sphénoïde; 2° les deux points du pré-sphénoïde se fusionnent rapidement l'un avec l'autre sur la ligne médiane. Ces constatations nous interdisent donc de considérer l'union des orbito-sphénoïdes avec le pré-sphénoïde comme une zone de croissance.

Nous savons, d'autre part, que les orbito-sphénoïdes se développent dans des lames orbitaires du chondrocrâne, et nous avons vu que la ligne d'ossification marche dans ces cartilages de dehors en dedans.

La conclusion utile qui se dégage de ces faits, est que l'extension latérale des orbito-sphénoïdes est due à la croissance des bords externes libres, des lames orbitaires (*fig. 37, fig. 38*). Ces bords ne sont que très tardivement, après la naissance, envahis par l'ossification (*fig. 16 [3']*); ils peuvent, par conséquent, présider à l'accroissement progressif des ébauches orbito-

sphénoïdales, en utilisant les procédés de croissance propres au cartilage. Dans ses parties juxta-médianes, la lame orbitaire a une direction générale horizontale et transversale; par contre,

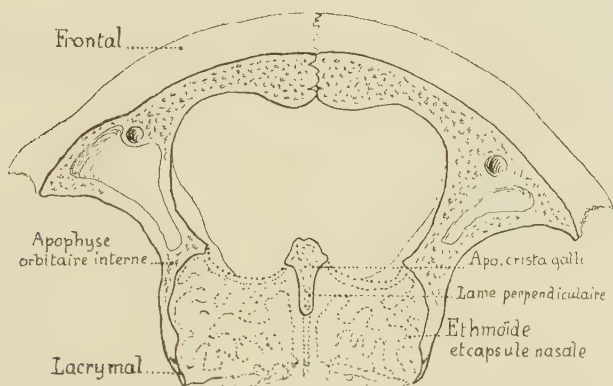


FIG. 71. — Agneau de trois semaines. Coupe vertico-frontale passant par la partie antérieure de la lame criblée de l'ethmoïde et destinée à montrer la constitution de la paroi crânienne à ce niveau. Grandeur nature.

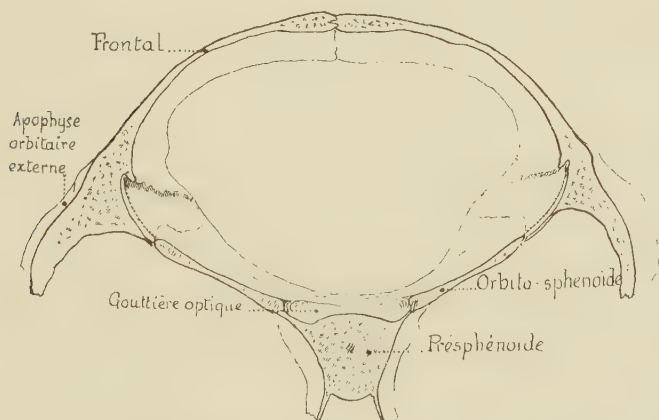


FIG. 72. — Même provenance que dans la figure 71. Coupe vertico-frontale du crâne suivant un plan passant par la gouttière optique. Elle montre la constitution de la paroi crânienne à ce niveau et particulièrement l'union de l'orbito-sphénoïde avec le frontal. Grandeur nature.

latéralement, elle se relève sur les côtés de la paroi crânienne.

En même temps que les lames orbitaires s'accroissent et s'ossifient, les deux frontaux ont progressé par leurs bords inférieurs

latéraux sur les parois de la cavité crânienne. De chaque côté, l'extrémité cartilagineuse de l'aile orbitaire vient buter sur la face interne de l'écaille frontale, près de son bord inférieur.

Des phénomènes d'érosion discrets, mais parfaitement nets, ne tardent pas à creuser, à la face interne du frontal, d'abord une rainure, puis une profonde mortaise dans laquelle s'engage de plus en plus nettement l'extrémité cartilagineuse de l'orbito-sphénoïde (*fig. 37, fig. 38*). Les deux formations croissent donc en sens inverse, le bord du frontal progresse vers le bas, l'orbito-sphénoïde s'étend vers le haut, l'érosion osseuse de la face interne du frontal lui frayant la marche et lui préparant un terrain d'accroissement. Le résultat, c'est que tout semble se passer comme si l'orbito-sphénoïde soulevait la partie postérieure et latérale de l'écaille frontale et l'obligeait à basculer en avant. Nous avons envisagé en son temps ce phénomène. Nous venons de dire « tout semble se passer comme si l'orbito-sphénoïde soulevait la partie postérieure et latérale du frontal ». Cela fait image, mais en réalité rien ne démontre qu'il y a soulèvement d'un os par un autre. Dans le cas particulier, le frontal obéit, dans son mouvement de bascule, à la poussée qui résulte de la croissance des hémisphères, et il trouve, grâce à ses relations avec l'orbito-sphénoïde, un point d'appui passif, mais adapté à chaque instant aux conditions du mouvement.

Ecartement des trous optiques. — Les deux trous optiques sont situés de chaque côté du corps du pré-sphénoïde et s'ouvrent en arrière, dans la dépression profonde de la gouttière optique qui loge le chiasma. Ces deux trous sont d'abord très rapprochés ; autour de chacun d'eux apparaissent les deux points d'ossification de l'orbito-sphénoïde et du pré-sphénoïde. La soudure précoce des orbito-sphénoïdes ne permet guère aux trous optiques de s'écarter l'un de l'autre pour arriver à leur distance définitive par le procédé de la croissance du cartilage. Et cependant le chiasma optique s'accroît, les nerfs optiques s'écartent l'un de l'autre ; le corps du basi-sphénoïde s'élargit, les trous optiques augmentent de diamètre. Entre les stades de trois semaines et le stade adulte, la distance des trous optiques

passé de 10 millimètres à 17 millimètres. La largeur de la gouttière optique de 13 à 16 millimètres, son ouverture dans le sens antéro-postérieur de 4, 7, à 6, 8 millimètres.

Le processus qui réalise ce phénomène d'écartement est simple et point n'est besoin d'invoquer une croissance interstitielle hypothétique de l'os. On constate toujours une érosion très accusée sur le bord latéral externe du trou optique, tandis que le bord latéral interne est le siège d'une apposition modérée, non douteuse (*fig. 42*).

Par ce double processus, chaque trou est déporté latéralement et il suffit de supposer que la résorption du bord externe compense l'apposition du bord interne. C'est ce qu'on observe. Si cette résorption est supérieure à l'apposition, le trou s'agrandit, en vue de loger un nerf optique qui remplace le pédicule primitif d'abord et qui se myélinise ensuite dans sa phase d'accroissement la plus rapide.

Nous n'avons parlé des trous optiques qu'à titre d'exemple, car les phénomènes d'érosion et d'apposition sont faciles à constater sur les préparations; mais cet exemple peut être invoqué pour les autres trous symétriques, trous ovales, déchirés antérieurs et postérieurs, etc.

c) BASI-SPHÉNOÏDE (fig. 73). — Le basi-sphénoïde s'étend latéralement par les ali-sphénoïdes, percés du trou ovale pour le nerf maxillaire inférieur. Les ali-sphénoïdes s'insinuent par leurs bords latéraux comme des coins allongés entre le pariétal à la face interne et le squamosal à la face externe.

Les points d'ossification du basi-sphénoïde et des ali-sphénoïdes sont fusionnés de très bonne heure (stade de 8 centimètres). Ils s'étendent donc comme un point unique dans deux minces lames cartilagineuses, les ailes temporales cartilagineuses. Ces lames n'atteignent pas les parois latérales du crâne. Aussi bien l'os cartilagineux ne joue qu'un faible rôle dans cette région.

Le rôle prépondérant est dévolu à l'os périostique qui forme notamment une couche épaisse à la face inférieure de l'ali-sphénoïde et qui se prolonge latéralement jusqu'à rejoindre le pariétal. Il se glisse sous le bord inférieur de celui-ci et se relève en s'insinuant entre le pariétal et le temporal (*fig. 17*).

On ne peut nier que les ailes temporales cartilagineuses ne fournissent un contingent d'os enchondral pour l'accroissement latéral dans cette région, mais cet os est éphémère, plus encore que dans l'orbito-sphénoïde. Cependant, toute la partie qu'il forme dans l'ali-sphénoïde limite la base du crâne de chaque côté de la fosse hypophysaire, tandis que la portion externe de l'aile ne fait que doubler en dehors le pariétal qui descend très bas.

Les ali-sphénoïdes d'os enchondral, prolongés par leurs coins d'os périostique s'appuient en dehors sur les squamosaux qui

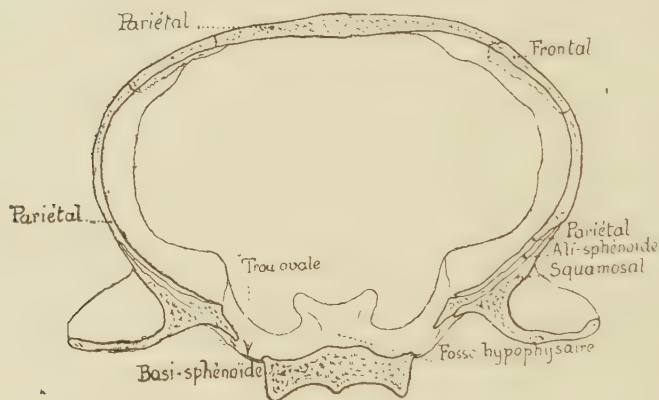


FIG. 73. — Crâne d'un Agneau de trois semaines.

Constitution de la paroi cranienne au niveau d'une coupe vertico-frontale légèrement oblique du crâne, passant par la partie moyenne de la fosse hypophysaire et par les deux trous ovales. Grandeur nature.

prolongent leur direction en dehors et en haut. A la face interne de ces deux os ainsi réunis de façon à fournir une surface unique, le pariétal glisse par la croissance en bas et en dedans de son bord inférieur. Tandis que le squamosal et l'ali-sphénoïde s'accroissent en haut et en dehors, le pariétal, insinué en dedans d'eux, pousse en bas et en dedans.

On ne peut pas manquer d'être frappé de l'analogie de cette disposition avec celle qui vient d'être décrite à propos des liaisons de l'orbito-sphénoïde avec le frontal, avec cette différence que, dans le cas présent, la pièce descendue de la voûte passe

en dedans du relèvement latéral de la base. Il n'en reste pas moins, que ce rebord latéral constitue un point d'appui sur lequel le pariétal peut exécuter son mouvement de bascule, antérieurement étudié.

Mais, pour que l'accroissement latéral de l'ali-sphénoïde puisse se faire, il est nécessaire d'admettre un déplacement concomitant du squamosal. J'ai noté, sur quelques coupes et à des stades différents, des phénomènes d'érosion de la face interne de l'écaille temporale dans la région où elle est doublée intérieurement par l'ali-sphénoïde. Mais ce processus est certainement discret et je crois qu'il répond à des phénomènes locaux de modelage.

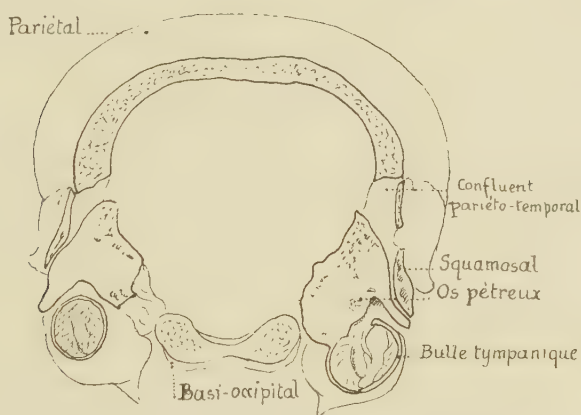


FIG. 74. — Crâne d'un Agneau de trois semaines.
Constitution des parois craniennes sur une coupe vertico-frontale du crâne passant en arrière du conduit auditif externe. Grandeur nature.

Comme on va le voir dans la suite, il y a lieu d'admettre un autre mécanisme que celui de l'érosion interne combiné à l'apposition externe pour expliquer l'écartement des os temporaux dans leur ensemble.

d) **BASI-OCCIPITAL** (*fig. 74, fig. 75*). — Il faut étudier les conséquences de l'accroissement transversal de cet os au niveau de la région où il répond aux ex-occipitaux et dans le segment plus antérieur où la paroi latérale du crâne est occupée par les capsules auditives.

Nous avons vu déjà que le basi-occipital est relié latéralement aux deux ex-occipitaux par un cartilage de conjugaison à croissance bipolaire. Ce cartilage est dirigé obliquement de dedans en dehors et d'arrière en avant. Nous savons que, par sa face externe, cette lame cartilagineuse fournit à l'ex-occipital correspondant. Par sa face opposée, elle préside à l'accroissement du basi-occipital; la direction générale du cartilage, l'orientation de ses groupes isogéniques axiaux montrent que cet accroissement élargira le basi-occipital (*fig. 75*).

De la sorte, la cavité crânienne augmentera de largeur, non seulement au niveau du trou occipital lui-même, mais encore

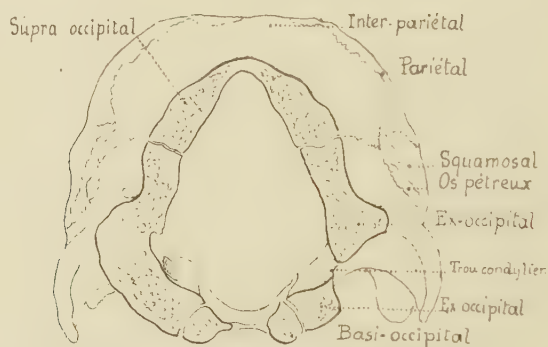


FIG. 75. — Agneau de trois semaines.

Constitution des parois de la cavité crânienne sur une coupe vertico-frontale du crâne passant immédiatement en arrière des trous condyliens, le trou condylien gauche a même été intéressé au niveau de son bord postérieur, car la coupe est un peu oblique. Grandeur nature.

dans toute la région correspondant à la zone de liaison entre les deux os considérés.

c) CAPSULE AUDITIVE. — Au niveau des capsules auditives, le basi-occipital est en rapport avec ces capsules (*fig. 74*). Dans les premiers stades, tout est cartilagineux et il existe des liaisons faibles entre le cartilage basal et les capsules. Ces ponts cartilagineux sont peu épais et séparés par des fentes importantes qui correspondent aux trous déchirés (*fig. 21, fig. 41*).

Or, la capsule auditive reste très longtemps cartilagineuse et lorsqu'elle s'ossifie, elle perd ses liaisons avec le basi-occipital.

Sur un crâne de Mouton, de trois semaines, il est aisé de détacher la capsule auditive et la chambre tympanique. La capsule se développe donc pour elle-même, en dehors de toute connexion étroite avec les os voisins. Elle suit le mouvement de ces os bien plus qu'elle ne le commande. Elle peut ainsi obéir à la poussée intra-cranienne, qui tend à la repousser en dehors et entraîne dans son mouvement en dehors le squamosal et le tympanique qui s'appuient respectivement sur ses faces externe et inférieure.

Il faut aussi remarquer que des liaisons cartilagineuses plus durables, quoique condamnées à disparaître, joignent la capsule aux lames cartilagineuses dans lesquelles se développent les ex-occipitaux. Mais, en définitive, c'est par des sutures fibreuses serrées, mais non fermées, que la capsule se solidarise avec les os voisins : basi-occipital, ex-occipitaux, ali-sphénoïdes. Ces liaisons expliquent que la capsule pourra être entraînée dans les déplacements que subissent ces os au cours de la croissance.

L'os pétreux a donc la possibilité de s'allonger pour combler l'hiatus qui tend à le séparer du basi-occipital, ne laissant persister que les trous déchirés au-dessous desquels on aperçoit la face interne de l'os tympanique (bulle tympanique).

En résumé :

1° L'ethmoïde s'étend sous forme cartilagineuse par croissance interstitielle principalement.

2° Le segment pré-sphénoïdal, né par des points latéraux, s'étend latéralement presque uniquement dans le chondrocrâne par progression de la ligne d'ossification des orbito-sphénoïdes.

3° Le segment basi-sphénoïdal progresse latéralement par la ligne d'ossification des ali-sphénoïdes prolongée par une forte lame d'os périostique qui s'insinue entre le pariétal et le squamosal.

4° Des dispositions particulières permettent de considérer que les orbito-sphénoïdes et les ali-sphénoïdes jouent au point de vue mécanique un rôle important en servant de points d'appui aux mouvements de bascule du frontal, d'une part et du pariétal, d'autre part.

5° Dans la région occipitale, la disposition des liaisons des ex-occipitaux entre eux et avec les os voisins et la topographie des zones d'érosion permettent d'expliquer l'accroissement transversal de la cavité crânienne à ce niveau sans faire intervenir le phénomène de l'éversion.

6° De l'ensemble des faits concernant l'accroissement de la voûte et de la base, il découle, enfin, que l'allongement du diamètre vertical de la cavité crânienne est réalisé par la croissance propre des os de la voûte combinée à des phénomènes de decourbure par érosion et par éversion.

III. — Résumé et essai de synthèse de l'accroissement de la cavité crânienne en général.

Nous avons décrit les processus histologiques observables et nous avons mis en accord avec ces phénomènes la mécanique d'accroissement de la voûte et de la base, pour chaque os considéré en particulier.

Il convient maintenant d'étudier la marche de la croissance générale de la cavité, qui résulte nécessairement d'accroissements partiels harmonisés entre eux, et de faire une synthèse de tous ces phénomènes.

Quant aux causes profondes qui déterminent cette croissance, il faut, vraisemblablement, les rapporter, pour l'essentiel, à l'augmentation de volume de l'encéphale, la cavité crânienne se moulant sur son contenu au fur et à mesure du développement.

Nous ne nous arrêterons pas à l'étude de ce côté du problème, qui mériterait d'être reprise sur divers points. Il est bien évident, par exemple, qu'il ne serait pas sans intérêt de chercher à savoir pourquoi, dans les premiers stades du développement, il existe une fosse cérébelleuse déjà bien accentuée en regard d'un cervelet encore très réduit, pourquoi les ébauches des hémisphères cérébraux ne semblent remplir que très imparfaitement la cavité qui les contient.

L'expérience nous a montré que, pour aborder l'étude de ces

questions, il est nécessaire d'utiliser une méthode spéciale très exactement adaptée au but poursuivi. Il faudrait observer parallèlement le développement de chaque os avec les parties sous-jacentes de l'encéphale sur des pièces très soigneusement fixées, sans rétraction du contenu par rapport au contenant, chose difficile à obtenir comme nous l'avons vu. La détermination d'un protocole de fixation très précise, le choix d'un objet d'étude favorable et susceptible de se prêter pratiquement à une étude microscopique systématique constituent déjà des recherches préalables de longue durée.

Pour l'heure, abandonnant l'analyse des faits, nous voulons essayer de faire une étude synthétique des procédés d'accroissement de la cavité crânienne osseuse, considérée dans son ensemble, en envisageant la façon dont est réalisée l'augmentation des diamètres longitudinal, transversal et vertical.

La cavité osseuse du crâne peut être décomposée en trois segments situés les uns au bout des autres : antérieur ou frontal ; moyen ou pariétal ; postérieur ou occipital (*fig. 76 A*). Chacun de ces trois segments comporte trois pièces osseuses unies par trois liaisons ou zones d'accroissement (sutures ou cartilages).

Envisageons chacun de ces segments successivement avec les pièces qui les constituent pour bien distinguer leur existence séparée.

LE SEGMENT ANTÉRIEUR (*fig. 76 B*) comprend :

A la base : le pré-sphénoïde [1] prolongé en avant par l'ethmoïde, latéralement par les orbito-sphénoïdes ;

Sur les côtés et à la voûte : les deux écailles frontales [2-3].

Les liaisons sont représentées par :

La suture interfrontale à la voûte,

Les deux sutures interfronto-sphénoïdales à la base, prolongées en avant par les sutures unissant le bord interne et la lame criblée de l'ethmoïde à l'apophyse orbitaire du frontal.

LE SEGMENT MOYEN (*fig. 76 C*) est formé :

A la base, par le basi-sphénoïde prolongé de chaque côté par les ali-sphénoïdes [4] ;

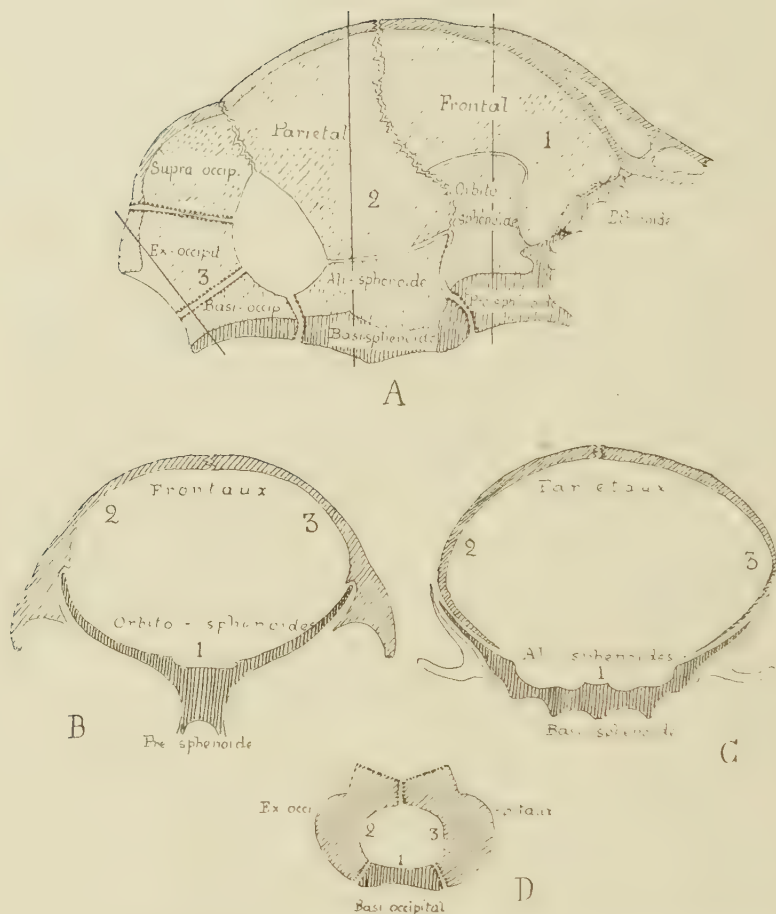


FIG. 76. — Représentation schématique d'après nature, du crâne de Monton à trois semaines. Réduit d'un tiers par rapport aux dimensions réelles.

A) Les trois segments du crâne réunis bout à bout par des liaisons souples.

Remarquer l'espace vide laissé à la place de la capsule auditive et la constitution particulière du segment postérieur. La présence du supra-occipital, fusionné à ce moment avec l'interpariétal, complique à ce niveau la constitution de la voûte, mais ne modifie pas le mécanisme général de la croissance.

B) Segment frontal. 1, pièce basale. 2-3, pièces de la voûte.

C) Segment pariétal. 1, pièce basale. 2-3, pièces de la voûte.

D) Segment occipital. 1, pièce basale. 2-3, pièces de la voûte.

A la voûte, par les deux pariétaux [2-3].

Les liaisons sont constituées :

A la voûte, par la suture interpariétale ;

A la base, par les deux sutures interpariéto-ali-sphénoïdales.

LE SEGMENT POSTÉRIEUR (*fig. 76 D*) présente :

A la base, le basi-occipital [1] ;

A la voûte, les deux ex-occipitaux [2-3].

Les liaisons sont constituées :

A la voûte, par le cartilage de conjugaison sagittal qui réunit les deux ex-occipitaux au-dessus du trou occipital ;

A la base, par les deux cartilages de conjugaison interposés entre chacun des ex-occipitaux et le côté correspondant du basi-occipital (1).

Chaque segment représente donc un tube. Ce tube est composé de trois pièces séparées par des sutures ou des liaisons cartilagineuses. Tant que dure la croissance, chaque pièce s'accroît pour son compte en regard des deux pièces voisines et tend à agrandir le diamètre du tube. Ceci implique une variation du rayon de courbure ; ce sont les procédés d'érosion et d'apposition qui se chargent de ce travail ; on l'a vu pour le frontal et le pariétal avec quelques détails. Donc, notre schéma, pour simple qu'il soit, n'en est pas moins rationnel.

Chaque segment se développe et s'accroît pour son propre compte, mais en harmonie avec les voisins.

On pourrait dire avec raison que la croissance se fait unique-

(1) Les os pétreux ne possèdent avec les os de la base que des liaisons faibles ; ils suivent passivement les mouvements qui leur sont communiqués par d'autres pièces (ali-sphénoïdes, ex-occipitaux) ; ils n'ont qu'un rôle passif.

Quant aux dispositions particulières dues à la présence du supra-occipital et de l'interpariétal dans la région de la voûte du segment occipital, elles prennent leur véritable signification, si on observe que le supra-occipital est uni, d'une part à l'interpariétal par une suture à direction transversale, et qu'il est joint, d'autre part, aux ex-occipitaux par un cartilage de conjugaison de même direction, dont l'activité persiste encore à trois semaines. Considérées au point de vue de la croissance, ces pièces et ces liaisons souples représentent indubitablement des éléments qui interviennent dans l'accroissement du diamètre vertical du crâne dans cette région.

ment au niveau des sutures et des cartilages, tandis que le modelage (érosion et apposition) se fait sur tout ou partie de chaque os, maintenant celui-ci en accord avec la forme générale du segment.

Ainsi se réalise la croissance dans les diamètres verticaux et transversaux dans chaque segment en particulier.

La croissance dans le diamètre antéro-postérieur, dans l'axe par conséquent, est obtenue par chacun des segments à son extrémité et postérieure, grâce à des parties souples représentées, à la base par des cartilages de conjugaison, à la voûte et sur les côtés du crâne par des sutures (*fig. 76 A*).

La suture interfronto-pariétale et le cartilage interbasi-pré-sphénoïdal unissent et séparent le segment antérieur et le segment moyen.

La suture située entre le pariétal en avant et le bord supérieur de l'écaille occipitale avec ses deux segments interpariétal et supra-occipital; la suture entre le bord postérieur du pariétal et la partie correspondante de l'os pétreux, le cartilage de conjugaison situé entre le basi-sphénoïde et le basi-occipital assurent à la voûte et à la base la liaison souple du segment moyen avec le segment postérieur.

Le rôle de ces sutures et cartilages est de relier les os entre eux et de leur fournir à tout instant un terrain d'accroissement.

En fait, chaque segment s'allonge pour son compte et d'accord avec les voisins. Les deux segments extrêmes s'allongent aussi par leur deux parties extrêmes, l'un en avant, l'autre en arrière. Le résultat d'ensemble est l'agrandissement de l'axe antéro-postérieur de la cavité crânienne tout entière.

Il est intéressant de constater qu'en dépit de la complexité des phénomènes de détail, la croissance de la cavité crânienne se réduit au mécanisme de l'accroissement d'un ovoïde tripartite dans le sens longitudinal comme dans le sens transversal.

CONCLUSIONS

I. — La croissance rationnelle et le modelage des os des Mammifères, quelles que soient leur forme et leur origine, résultent de phénomènes d'apposition et de résorption combinées. La croissance interstitielle n'a jamais été démontrée d'une façon positive, ni par l'observation histologique ni par des expériences rigoureuses et inattaquables.

II. — La croissance des os du crâne est connue ; elle est en tous points semblable à celle des autres os du squelette. Des phénomènes de modelage local y ont été observés ; mais aucune étude d'ensemble vraiment objective n'a été tentée pour préciser comment, au cours du développement, les processus histologiques se répartissent au niveau des différents os et comment ils se combinent pour aboutir, en définitive, à l'accroissement rationnel des parois de la cavité crânienne.

III. — La méthode des coupes en série à différents stades du développement a permis d'observer, à chaque instant, la marche et l'évolution des phénomènes de croissance déjà connus et des phénomènes de modelage peu étudiés. On a pu établir par l'association de ces phénomènes dans le temps et dans l'espace le plan du modelage de chaque os, et le mécanisme du développement harmonique des diverses pièces entrant dans la constitution de la paroi crânienne.

IV. — Pour la base du crâne, il n'y a pas lieu de décrire des phénomènes spéciaux qui ne soient déjà connus.

Essentiellement, l'allongement résulte de la formation par le fait de l'ossification enchondrale discontinue dans le cartilage basal du chondrocrâne de trois pièces osseuses : le basi-occipital, le basi-sphénoïde, le pré-sphénoïde. Entre ces pièces, le carti-

lage persiste sans s'ossifier et s'organise en deux cartilages de conjugaison à croissance bipolaire.

L'ossification n'atteint que tardivement les extrémités du cartilage basilaire primitif (lame perpendiculaire de l'ethmoïde et extrémité postérieure du basi-occipital). La croissance du cartilage à ces extrémités intervient donc pendant un certain temps dans l'allongement de la base.

L'élargissement de la base est acquis principalement par le développement dans le sens transversal des parties latérales de la région basilaire du chondrocrâne, qui s'ossifient (orbito-sphénoïdes, ali-sphénoïdes, basi-occipital).

V. — Pour la voûte, la croissance générale résulte de la croissance propre de chaque os au niveau des bords.

Ces os se développent en surface par extension de leurs bords au niveau des sutures, où se forment à chaque instant des portions d'os nouvelles qui combleront les fentes et les hiatus fibreux que la croissance tend à ouvrir.

L'épaississement des os se fait par apposition au niveau de leurs faces, particulièrement au niveau de la face externe.

Les phénomènes fondamentaux sont toujours des phénomènes d'apposition et des phénomènes d'érosion. Leur combinaison aboutit à des changements de forme et de courbure de chaque os. Il s'ajoute, parfois, des phénomènes purement mécaniques, tels que le basculement de certains os autour d'un axe situé à l'union de la voûte et de la base.

VI. — Les frontaux présentent une croissance par écailles superposées en tuiles de toit, surtout au niveau de leurs bords internes et de leurs bords postérieurs. Une forte érosion interne combinée à l'apposition externe approfondit les bosses frontales et règle leurs courbures transversales. Une érosion externe localisée avec apposition interne correspondante règle la courbure dans les plans antéro-postérieurs. Il paraît exister un mouvement de bascule autour d'un axe transversal passant approximativement par les apophyses orbitaires externes. Ce mouvement tend à relever continuellement le bord postérieur de

frontaux. L'écartement de ces os suit l'élargissement des orbito-sphénoïdes, et la suture métopique permet cet écartement.

VII. — Les pariétaux présentent aussi spécialement le phénomène de résorption interne très accusé dans leur moitié inférieure. Le redressement de la courbure est acquis par ce premier phénomène, auquel s'associe vers le centre de figure de l'os une érosion externe localisée ou un arrêt de croissance, avec apposition interne correspondante.

Les pariétaux suivent l'écartement des ali-sphénoïdes sur lesquels ils s'appuient, la suture interpariétale permet cet élargissement. Ces processus sont très probablement complétés par une légère éversion des deux os.

VIII. — Les ex-occipitaux s'écartent l'un de l'autre par le jeu de trois cartilages situés autour du trou occipital : l'un à direction sagittale sépare les deux ex-occipitaux sur la ligne médiane ; les deux autres unissent les ex-occipitaux au basi-occipital. Ces cartilages sont fertiles sur leurs deux faces.

Le supra-occipital est séparé du bord supérieur des deux occipitaux par un cartilage de conjugaison à direction horizontale. La situation de ce cartilage à croissance bipolaire et son orientation montrent qu'il intervient principalement dans l'accroissement vertical des ex-occipitaux et du supra-occipital. C'est un agent de croissance du diamètre vertical de la cavité cranienne dans cette région.

*
* *
*

IX. — Au total, la cavité cranienne s'accroît comme si elle était constituée de trois segments creux, à paroi rigide, morcelée par trois liaisons souples, deux à la base, une à la voûte.

SEGMENT ANTÉRIEUR :

Parois. — *Base* : pré-sphénoïde et ethmoïde et orbito-sphénoïdes [1].

Voûte et faces latérales : frontal droit, frontal gauche et apophyses orbitaires internes correspondantes.

Liaisons souples. — *Voûte* : suture métopique.

Base : sutures fronto-sphénoïdales et fronto-ethmoïdales.

SEGMENT MOYEN :

Parois. — *Base* : basi-sphénoïde et ali-sphénoïdes.

Voûte : pariétal droit, pariétal gauche.

Liaisons. — *Voûte* : suture interpariétale.

Base : sutures interpariéto-sphénoïdales.

SEGMENT POSTÉRIEUR :

Paroi. — *Base* : basi-occipital.

Voûte : ex-occipital droit; ex-occipital gauche.

Liaisons souples. — *Voûte* : cartilage de conjugaison situé entre les deux occipitaux.

Base : cartilages de conjugaisons situés entre le basi-occipital et chacun des ex-occipitaux.

Ces trois segments sont distincts dans le sens antéro-postérieur, unis et séparés par des liaisons souples : sutures à la voûte, cartilages à la base; ces liaisons souples sont les zones fertiles de la croissance de chaque segment dans le sens antéro-postérieur.

Liaisons du segment antérieur avec le segment moyen :

Voûte : suture interfronto-pariétale.

Base : cartilage de conjugaison interbasi-pré-sphénoïdal.

Liaisons du segment moyen avec le segment postérieur :

Voûte : suture interpariéto-occipitale.

Base : cartilage de conjugaison situé entre le basi-sphénoïde et le basi-occipital.

X. — Dans chaque segment, l'accroissement dans les différents diamètres résulte de l'accroissement des diverses parties constitutives.

L'accroissement total de la cavité crânienne dans les divers sens résulte de la somme de ces accroissements partiels, combinés au phénomène du redressement de la courbure des os de la voûte.

*
* * *

XI. — L'apposition osseuse est liée à l'activité des ostéoblastes. Au niveau des travées qui doivent être résorbées ou lorsque

celles-ci s'arrêtent de croître temporairement ou définitivement, on assiste à la dégénérescence partielle, puis massive, des ostéoblastes qui ne se sont pas transformés en cellules osseuses. Seul un petit nombre des ostéoblastes engagés dans l'édification des travées osseuses persiste sous la forme de cellules osseuses durables emprisonnées dans l'osséine.

XII. — L'érosion osseuse a paru être, d'une façon constante, au niveau des os étudiés, le résultat de l'activité des ostéoclastes. Il n'a pas été possible d'identifier d'une façon certaine l'existence d'un processus d'ostéolyse s'effectuant en dehors de l'intervention des ostéoclastes.

XIII. — Les ostéoclastes, étudiés au niveau de la paroi du sinus frontal en voie de formation, où les phénomènes d'érosion sont très actifs, a permis de rapporter l'origine de ces éléments aux cellules rondes mobiles du tissu conjonctif, elles-mêmes d'origine lymphocytaire.

Les jeunes ostéoclastes apparaissent dans le tissu conjonctif, à une certaine distance de l'os, et dans des régions particulièrement riches en vaisseaux; ils gagnent les surfaces d'érosion en augmentant leur volume et le nombre de leurs noyaux.

L'accroissement du nombre des noyaux n'a pu être élucidé d'une façon complète; il paraît, cependant, relever de procédés différents peut-être employés concurremment.

Les ostéoclastes employés à la résorption des travées dégénèrent par fonte cellulaire après un certain temps. L'existence de centres de formation de cellules jeunes est en relation avec le remplacement des formes dégénérées et le maintien du contingent des agents actifs de la résorption.

XIV. — Les phénomènes d'érosion combinés aux phénomènes d'apposition interviennent dans la décourbure des os de la voûte. L'étude de la distribution topographique des deux ordres de phénomènes montre que cette décourbure est réalisée suivant un procédé qui économise la substance à résorber et le travail à fournir.

Il existe, notamment au niveau du frontal et du pariétal, une forte érosion interne avec apposition externe dans les parties où ces os confinent à la base du crâne ; en même temps on observe, dans la région correspondant au centre de figure de ces os, de l'érosion externe avec apposition interne. La combinaison de ces phénomènes et la croissance des os au niveau de leurs bords est nécessaire et parfois suffisante (cas des ex-occipitaux) pour rendre compte du redressement des courbures ; elle permet, dans la formation de l'os nouveau, l'utilisation de notables parties osseuses édifiées dans les stades antérieurs.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION	3

CHAPITRE PREMIER

Les os s'accroissent par apposition. Preuves expérimentales. Critique des expériences tendant à démontrer la croissance interstitielle.....	7
I. — <i>Expériences sur la croissance des os longs pourvus de cartilages de conjugaison</i>	8
A) Expériences de du Hamel	8
B) Travaux de Hunter	13
C) Expériences de Flourens.....	15
D) Recherches d'Ollier.....	18
E) Travaux de Wolff.....	20
F) Critique des travaux de Wolff.....	22
G) Travaux de Wolkmann.....	24
H) Critique des travaux de Wolkmann.....	25
I) Recherches de Latarjet.....	25
J) Expériences de G. Dubreuil.....	26
II. — <i>Expériences sur le crâne</i>	28
A) Expériences de von Gudden et de Egger.....	28
B) Expériences de Schwalbe.....	30
C) Recherches de Maas.....	31
D) Critique et discussion.....	32

CHAPITRE II

Processus histologiques généraux de l'ossification. La croissance des os est le résultat de phénomènes d'apposition. Rien ne démontre histologiquement la croissance interstitielle....	35
I. — <i>Processus histologiques de l'accroissement des os déve- loppés dans le cartilage</i>	35
1° Les os longs.....	35
2° Les os plats.....	40
II. — <i>Processus généraux de l'ossification des os du crâne</i> ..	41
1° Les os primaires.....	42
2° Les os secondaires.....	43

	Pages
III. — <i>Faits personnels concernant l'évolution et le rôle des ostéoblastes et des ostéoclastes</i>	47
1° Les ostéoblastes.....	47
2° Les ostéoclastes.....	52
3° La résorption osseuse sans intervention des ostéoclastes.....	67
4° Les arguments histologiques invoqués en faveur de la croissance interstitielle du tissu osseux. L'argument de Ruge.....	71
5° Conclusions.....	72

CHAPITRE III

Etude du développement de la cavité crânienne chez le Mouton.

Méthode de recherches et procédés techniques. Anatomie

sommaire des parois de la cavité crânienne du Mouton adulte.

Etude de la formation des pièces limitant la cavité crânienne.

Phénomènes d'érosion et d'apposition osseuses..... 74

I. — *Méthode de recherches et procédés techniques*..... 74

 A) Objet d'étude..... 74

 B) Recherches macroscopiques..... 76

 C) Recherches microscopiques..... 79

II. — *Etude du développement de la cavité crânienne chez le Mouton*..... 82

 A) Constitution anatomique sommaire des parois de la cavité crânienne osseuse du Mouton..... 82

 B) Le chondrocrâne..... 92

 C) Etude de la formation des pièces osseuses limitant la cavité crânienne..... 93

 D) Les phénomènes d'érosion..... 122

CHAPITRE IV

Mécanisme de croissance de la cavité crânienne..... 139

I. — *Croissance de la voûte*..... 139

 A) Procédés de croissance communs à plusieurs os.... 139

 B) Procédés de croissance propres à chaque os..... 152

II. — *Croissance de la base*..... 161

III. — *Résumé et essai de synthèse de l'accroissement de la cavité crânienne en général*..... 174

CONCLUSIONS..... 179

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Zoologie. — Développement des Onycophores.

Botanique. — Evolution et Caractères du Chondriome dans la cellule végétale et dans la cellule animale.

Vu et approuvé :
Paris, le 25 Avril 1923,
LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES,
M. MOLLIARD.

Vu et permis d'imprimer :
LE RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,
P. APPELL.

